



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés



Mémoire
MASTER ACADIMIQUE
Domaine : Science et Technologie
Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie Chimique

Présenté Par :
BOUBLAL Djouria Hibet Arrahmane et BENSAYAH Soudjoud
Thème

Valorisation de déchets des fruits et des légumes : Une solution durable pour l'alimentation animale

Soutenu Publiquement : 18 /06/2025
Devant le Jury Composé de:

Nom et prénom	Grade	Établissement	Jury
GUERDOUH Amel	MCA	Université de Ouargla	Présidente
KATEB Lamia	MAA	Université de Ouargla	Examinatrice
RAHMANI Youcef	Docteur /ingénieur	CRAPC	Encadreur
LATI Mokhtar	MCA	Université de Ouargla	Co-encadreur

Année universitaire 2024/2025

Remerciements

A l'occasion de la rédaction de ce mémoire de fin d'étude, nous tenons en premier lieu à remercier Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la force durant toutes ces années d'étude et de nous avoir accordé la foi et la volonté pour élaborer ce modeste travail.

*On tient à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur de ce travail, le Docteur **Rahmani Youcef** pour son assistance et ses conseils pour assurer le succès de ce travail. Et notre co- encadreur le docteur **Lati Mokhetar**.*

*Nous remercions les membres du jury, le Docteur **Guerdouh Amel**, Présidente, le professeur **Kateb Lamia**, Examinatrice d'avoir accepté l'examiner et leur temps qu'ils accordant à l'évaluation pour ce travail.*

Nous remercions le Centre de Recherche et d'Analyses Physico-chimiques (PTAPC-Ouargla) pour nous donner l'occasion de mettre en œuvre ce projet.

On remercie à l'ensemble des enseignants du Département de Génie des Procédés pour tous leurs efforts à présenter le message au maximum.

*On remercie également tous nos amis et collègues de la promotion de Génie chimique **2024/2025***

Nous ne pouvions terminer cette reconnaissance sans nous référons à Ceux qui nous sont chers, nos parents, nos frères, nos sœurs dont l'aide et les encouragements nous ont aidés à poursuivre nos études jusqu'à la réussite.

Merci à tous...

الإهداء

ما سلكنا البدايات إلا بتيسيره وما بلغنا النهايات إلا بتوفيقه وما حققنا الغايات إلا بفضلته وكرمه فالحمد لله الذي وفقنا

لثمين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية.

إلى غزة الصامدة، إلى فلسطين الأبية، إلى من علمونا معنى الصبر والكرامة رغم الجراح... إلى الأرواح الطاهرة التي ارتقت، وإلى من بقي على قيد النضال بثبات وإيمان، إلى قلوب الأمهات الصابرات وأحلام الأطفال التي لا تعرف الإنكسار... إلى طلاب العلم الذين سبقتهم الرصاصة قبل أن ينادى بأسمائهم يوم التخرج... أهدي ثمرة جهدي عربون وفاء ودعاء لا إلى نفسي في السابعة عشرة، كنت بذرة صغيرة في أرض الأحلام، حاملة أحلاماً آملاً كبيرة رغم كل شك وخوف، لم ينقطع. تعرفي الاستسلام، ولم تخشي المجهول، اليوم أهدي لك هذا التخرج، ثمرة صبرك، وإصرارك، نضوج روحك، فلتعلمي أن كل خطوة خطوتها كانت بداية لرحلة عظيمة، وأنت من صنع مستقبلك بيدك فلتستمري بالإيمان بنفسك دائماً. إلى والدي العزيزين، منبعي الأول للحب والدعم، واللذين لولاهما لما وصلت إلى هذه المرحلة، جزاكما الله عني خير الجزاء، وبارك فيكما وفي عطائكما اللامحدود.

إلى أخواتي العزيزات، عائشة، سميرة، أسماء وماريا، اللواتي كن عوناً لي في كل لحظة.. إلى إخواني الأعزاء وسندي في الحياة، عبد الوهاب، عبد الله، عبد الحليم، أشارككم هذا الإنجاز بكل فخر وامتنان. إلى أحفاد العائلة منبع الفرح، آمنة، لينة، تقوى، أنور، علي، أمجد، مسك الجنة، ميسم، تسنيم، جعلكم الله ذرية صالحة مصالحة ونجوماً ساطعة في سماء العلم. إلى أصدقائي وصحبة دربي، إلى صديقتي شيماء قطاي صديقة الطفولة والأمل.... إلى رفيقة السبيل والخطى والعثرات سجود.

إلى أستاذي المشرف الفاضل الدكتور رحمان يوسف، الذي كان لتوجيهه وملاحظاته الأثر الكبير في إتمام هذا العمل، أقدم عظيم امتناني وتقديري لجهوده المشكورة.

ولله الشكر كله أن وفقني لهذه اللحظة، لم تكن الرحلة قصيرة ولم تكن الأمور يسيرة، لكن بحول الله وقوته وصلت مشارف التخرج فالحمد لله رب العالمين.

جويرية هبة الرحمن

الإهداء

بسم الله خالقي وميسر أموري وعصمت أمري، له كل الحمد والامتنان. الحمد لله الذي بلغني هذا

العلم وأعانني على إتمامه الحمد لله حبا وامتنانا.

أهدي بكل حب هذا النجاح لنفسي أولا ثم إلى كل من سعي معي لإتمام هذه المسيرة دمتم لي سندا.

إلى النور الذي أضاء دربي، إلى العزيز الذي حملت اسمه فخرا، إلى ذلك الرجل العظيم الذي سعى

طول حياته لأكون الأفضل إلى أبي العزيز.

إلى من على وسادة قلبها تهدأ ثورتني، إلى داعمي الأول لتحقيق طموحي

ومن كانت ملجأ يدي اليمنى إلى القلب الحنون التي كانت دعواتها تحيطني، إلى

قدوتي أُمي الحبيبة.

إلى روافد الوفاء، إلى نبع المحبة والحنان، إلى من شد الله بهم عضدي فكانوا

خير معين سندي إخوتي.

إلى أول من إنتظر هذه اللحظات ليفخر بي، إلى الذي أكرمني بفضله

وشجعني للوصول وكان عوناً لي زوجي العزيز.

إلى رفيقة الدرب والكفاح وصديقة الطفولة، إلى من شاركتني هذا الإنجاز، رغم صعوبة الطريق وكثرة

العثرات زميلتي جويرية هبة الرحمن.

ولله الشكر كله أن وفقني لهذه اللحظة، لم تكن الرحلة قصيرة ولم تكن الأمور يسيرة، لكن بحول الله

وقوته وصلت مشارف التخرج.

فالحمد لله رب العالمين.

سجود

Liste des Tableaux

Tableau I.01 :	Les besoins nutritionnels des agneaux et chevreaux.....	10
Tableau I.02:	Les besoins nutritionnels des ruminants.....	11
Tableau III.01:	Mesure de la masse sèche.....	29
Tableau III.02:	Les paramètres nécessaires dans la cinétique de séchage.....	29
Tableau III.03:	Les conditions climatiques de trois jours de séchage.....	30
Tableau III.04:	Les résultats de variation la masse des déchets pendant le premier jour de séchage solaire.....	31
Tableau III.05:	Les résultats de variation de la masse de quantité de matière pendant le deuxième jour de séchage solaire.....	32
Tableau III.06:	Les résultats de quantité de matière pendant le troisième jour de séchage solaire.....	32
Tableau III.07:	Les résultats de variation de masse des échantillons durant le séchage solaire.....	32
Tableau III.08:	Evaluation de la teneur en eau en fonction de temps de séchage.....	33
Tableau III.09:	Mesure de taux d'humidité.....	34
Tableau III.10:	Les résultats de coloration d'échantillons des déchets avant le séchage (en purée).....	35
Tableau III.11:	Les résultats de coloration d'échantillons des déchets après le séchage (en poudre).....	36
Tableau III.12:	Les résultats de la coloration d'échantillons du maïs en poudre..	38
Tableau III.13:	Les concentrations d'acide gallique et ses absorbances.....	39
Tableau III.14:	Dosage de Polyphénols Totaux pour les déchets et pour le maïs	40
Tableau III.15:	Dosage des fibres au Détergent Neutre (NDF) –Milieu Basique.....	41
Tableau III.16:	Dosage des fibres au Détergent Neutre (ADF) -Milieu Acide.....	41
Tableau III.17:	Activité de l'eau des échantillons de déchets en purée pendant le séchage.....	42
Tableau III.18:	Les résultats d'activité d'eau d'un échantillon de déchets en poudre après le séchage.....	42
Tableau III.19:	Activité de l'eau d'un échantillon du maïs avant le séchage...	43
Tableau III.20:	activité de l'eau d'un échantillon du maïs en poudre après le séchage.....	43
Tableau III.21:	Taux de Protéines.....	43

Tableau III.22:	Dosage de matière grasse.....	44
Tableau III.23:	Dosage des glucides.....	44
Tableau III.24:	Taux des Cendres.....	45
Tableau III.25:	La mesure du pH.....	46
Tableau III.26:	Le test de digestion.....	46
Tableau III.27:	Analyse microbiologique pour les déchets.....	47
Tableau III.28:	Analyse microbiologique pour le maïs.....	47
Tableau III.29:	Composition de deux matrices.....	48
Tableau III.30:	Composition nutritionnelle pour la croissance.....	49
Tableau III.31:	Composition nutritionnelle pour l'engraissement.....	50

Liste des figures

Figure III.01:	Les conditions climatiques de séchage solaire.....	30
Figure III.02:	La cinétique de séchage moyenne.....	33
Figure III.03:	les indices de couleur des déchets avant le séchage	35
Figure III.04 :	Evaluation des indices de couleur des déchets après le séchage...	37
Figure III.05:	Evaluation de couleur du maïs après le séchage.....	38
Figure III.06:	Courbe de dosage des Polyphénols Totaux.....	40
Figure 01:	Déchets des fruits et légumes utilisées.....	59
Figure 02:	Déchets de fruits et légumes en tranches.....	59
Figure 03:	Le maïs de fourrage utilisé.....	59
Figure 04:	Les tamis de séchage.....	60
Figure 05:	Matière premier en tamis.....	60
Figure 06:	Les déchets à l'air libre.....	60
Figure 07:	Les déchets séchés.....	61
Figure 08:	Les déchets en poudre.....	61
Figure 09 :	Les feuilles, les tiges et les fruits de maïs broyés.....	61
Figure 10:	Le mélange des feuilles, les tiges et le maïs en poudre.....	62
Figure 11:	Broyeur type Siyo lux.....	62
Figure 12:	La boîte de pétri en verre.....	62
Figure 13:	Etuve.....	63
Figure 14:	Colorimètre.....	63
Figure 15:	Déchets de fruits et légumes et maïs en poudre.....	63
Figure 16 :	Les tubes à essai pour la macération.....	64
Figure 17:	Les échantillons avant de les mettre dans le spectrophotomètre uv-visible.....	64
Figure 18:	Les concentrations connues d'acide gallique.....	64

Figure 19:	Spectrophotomètre uv-visible.....	65
Figure 20:	Echauffement des échantillons.....	65
Figure 21:	Filtration des échantillons.....	65
Figure 22:	Les échantillons avant et après le séchage.....	66
Figure 23:	Papier filtre 110 mm.....	66
Figure 24:	Réactif NDF.....	67
Figure 25 :	Dispositif de mesure de l'activité de l'eau.....	67
Figure 26:	Échauffement de mélange.....	68
Figure 27:	Distillation de mélange.....	68
Figure 28:	Titration de distillat obtenu.....	68
Figure 29:	Dispositif d'extraction Soxhlet.....	69
Figure 30 :	L'appareil évaporateur rotatif	69
Figure 31 :	Le solvant organique (Hexane).....	70
Figure 32 :	Les bateaux de combustion en céramique vides.....	70
Figure 33:	Four à moufle type Nabertherm.....	71
Figure 34 :	Les échantillons de maïs avant la combustion.....	71
Figure 35 :	Mesure de pH des déchets des fruits et des légumes.....	71
Figure 36 :	Mesure du pH de maïs.....	72
Figure 37:	Le pH mètre utilisé.....	72
Figure 38:	Les échantillons avant l'incubation.....	73
Figure 39:	Les échantillons durant l'incubation.....	73
Figure 40 :	Les échantillons avant et après la centrifugation.....	74
Figure 41 :	Appareil centrifuge.....	74
Figure 42 :	Préparation des échantillons	75
Figure 43:	Les échantillons dans l'eau chaude et l'eau froide.....	75
Figure 44 :	Les échantillons avant l'incubation.....	76

Figure 45:	Etuve	76
Figure 46:	Résultats de Levures et Moisissures.....	77
Figure 47:	Résultats de Staphylocoques à coagulase +.....	77
Figure 48:	Résultats de Germes anaérobies sulfito-réducteurs.....	77
Figure 49:	Résultats de Germes aérobies à 30°C.....	78
Figure 50:	Résultats de Coliforme fécaux	78
Figure 51:	Résultats E.Coli.....	78

Liste des fiches techniques

Fiche technique de la Betterave.....	80
Fiche technique de Fenouil.....	81
Fiche technique d'oignon.....	82
Fiche technique de Fève.....	83
Fiche technique de Concombres.....	84
Fiche technique de kiwi.....	85
Fiche technique de Mangue.....	86
Fiche technique d'Orange.....	87
Fiche technique de Pomme.....	88
Fiche technique de Maïs.....	89

Tableau des abréviations

Abréviations/symboles	Définition	Unité
a*	Intensité ou chromaticité rouge–vert	Système CIELAB
ADF	Fibres au détergent acide	%
aw	Activité de l’eau (water activity)	---
b*	Intensité ou chromaticité jaune–bleu	Système CIELAB
Cag	Concentration d’acide gallique	µg/mL
c*	Intensité de la couleur (saturation)	Système CIELAB
ΔE	Distance totale entre deux couleurs dans l’espace CIELAB	---
F	Facteur de conversion azote → protéines brutes	6,25
h*	Position angulaire dans le cercle chromatique formé par a* et b*	Système CIELAB
H	Taux d’humidité	%
HPP	Haute Pression Hydrostatique	Pa
ITDAS	Institut Technique de Développement de l’Agriculture Saharienne	---
L*	Luminosité (lightness) de 0 (noir) à 100 (blanc)	Système CIELAB
Mf	Masse finale de l’échantillon	g
MG	Matière grasse	%
Mi	Masse initiale de l’échantillon sec	g
Mt	Masse totale	g
NDF	Fibres au détergent neutre	%
P	Poids de l’échantillon	g
PES	Poids d’extrait sec	g
Péch	Poids de l’échantillon	g
Pess	Prise d’essai	g
Pf	Poids final de l’échantillon	g
Pi	Poids initial de l’échantillon	g
Pt	Poids total	g

Pv	Poids à vide	g
ps	Tension de vapeur saturée	---
p	Tension de vapeur d'eau	---
VE	Volume d'extrait	μl
V0	Volume d'acide chlorhydrique utilisé pour l'essai	ml
V1	Volume d'acide chlorhydrique utilisé pour le titrage	ml
Xh	Teneur en eau sur base humide	kg eau / kg air humide
Xs	Teneur en eau sur base sèche	kg eau / kg air sec

Table des matières

REMERCIEMENTS	I
الإهداء	II
Liste des Figures.....	IV
Liste des Tableaux.....	IV
Tableau des abréviations	V
Résumé.....	VII
Abstract.....	VIII
الملخص.....	IX
Introduction générale.....	2
Chapitre - I - Généralités sur la valorisation agricole en alimentation animale	
Introduction	5
I.1 Valorisation des déchets agroalimentaires.....	5
I.1.1 Définition et enjeux.....	5
I.1.1.1 Définition des déchets	5
I.1.1.2 Les enjeux des déchets.....	5
I.1.1.2.1 Enjeux politiques.....	5
I.1.1.2.2 Enjeux socio- économiques	5
I.1.1.2.3 Enjeux environnementaux et sanitaires.....	6
I.1.2 Les déchets des fruits et des légumes.....	6
I.1.3 Impact des déchets de fruits et légumes.....	6
I.1.3.1 Impact environnemental.....	6
I-1.3.1.1 Effet de serre.....	6
I-1-3-1.2 La dégradation de la biodiversité et l'écosystème.....	7
I-1-3-1.3 L'effet de la décomposition de déchets sur la pollution.....	7
I-1-3-1.4 La consommation excessive de ressources naturelles	7
I.1.3.2 Impact économique de déchets des fruits et des légumes.....	7
I.1.3 Approches de valorisation.....	7
I.1.3.1 Compostage	8
I.1.3.2 Biogaz.....	8
I.1.3.3 Alimentation animal.....	8
I.2 Le séchage des fruits et des légumes.....	8
I.2.1 Principe du séchage	8
I.2.2 Méthodes de séchage.....	8

I.2.2.1	Séchage à l'air libre.....	8
I.2.2.2	Séchage au soleil.....	9
I.2.2.3	Le séchage à l'échelle industrielle.....	9
I.2.3	Influences sur la qualité nutritionnelle, les caractéristiques sensorielles et la durée de conservation	9
I.2.3.1	Valeur nutritive.....	9
I.2.3.2	Attributs relatifs aux sens.....	9
I.2.3.3	Temps de conservation.....	10
I.3	Alimentation animale et formulation des aliments.....	10
I.3.1	Besoins nutritionnels des animaux.....	10
I.3.1.1	Les besoins nutritionnels des agneaux et chevreaux.....	10
I.3.1.2	Le besoin nutritionnelle des ruminants.....	11
I.3.2	Rôle du maïs et des fruits séchés dans l'alimentation animale.....	11
I.3.2.1	Rôle du maïs	11
I.3.2.1.1	Constitution nutritionnelle.....	11
I.3.2.1.2	Application dans l'alimentation animale.....	11
I.3.2.2	Rôle du maïs et des fruits séchés dans l'alimentation animale.....	11
I.3.2.2.1	Bienfaits nutritionnels.....	12
I.3.2.2.2	Conséquences écologiques et économiques.....	12
Conclusion.....		12

CHAPITRE II: Méthodes et matériels

Introduction	14
II.1 Équipements et appareils.....	14
II.2 Produits chimiques et réactifs.....	14
II.3 Milieux de culture.....	14
II.4 Échantillons et matières premières.....	14
II.5 Matières premières.....	15
II.5.1 Sélection des fruits et légumes.....	15
II.5.2 Choix de maïs.....	15
II.6 Procédés de séchage.....	15
II.6.1 Conditions de séchage à l'air libre	16
II.6.1.1 Température.....	16
II.6.1.2 Humidité.....	16
II.6.1.3 Circulation d'air.....	16

II.6.1.4	Durée du séchage.	16
II.6.1.5	Surface exposée.....	16
II.6.2	Conditions climatiques.....	16
II.6.3	Suivi et contrôle de processus.....	16
II.6.4	Mode Opérateur.....	17
II.6.5	Mesure de la masse sèche.....	17
II.6.5.1	Mode Opérateur.....	17
II.7	Analyses physico-chimiques.....	17
II.7.1	Taux d'humidité.....	17
II.7.1.1	Humidité absolue (Teneur en eau à base sèche)	17
II.7.1.2	Humidité relative (Teneur en eau à base humide)	18
II.7.1.3	Mode Opérateur.....	18
II.7.2	Mesure de la couleur.....	18
II.7.2.1	Mode Opérateur.....	19
II.7.3	Dosage des Polyphénols Totaux.....	19
II.7.3.1	La courbe d'étalonnage.....	19
II.7.3.2	Mode Opérateur.....	19
II.7.4	Dosage des fibres au Détergent Neutre (NDF) -Milieu Basique.....	20
II.7.4.1	Mode Opérateur.....	20
II.7.5	Dosage des fibres au Détergent Acide (ADF) -Milieu Acide.....	20
II.7.5.1	Mode Opérateur.....	20
II.7.6	Activité de l'eau	21
II.7.6.1	Mode Opérateur.....	21
II.7.7	Dosage de Protéines.....	21
II.7.7.1	Mode Opérateur.....	21
II.7.8	Dosage de la matière grasse (Les lipides)	22
II.7.8.1	Mode Opérateur.....	22
II.7.8.1.1	Extraction et évaporation du solvant	22
II.7.8.1.2	.Extraction des matières grasses.....	22
II.7.9	Dosage de glucides	22
II.7.10	Taux de Cendres	23
II.7.10.1	Mode opératoire.....	23

II.7.11	Mesure de pH.....	23
II.7.11.1	Mode opératoire.....	23
II.7.12	Test de digestion.....	24
II.7.12.1	Mode opératoire.....	24
II.7.13	Analyse microbiologique.....	24
II.7.13.1	Germes aérobies à 30°C.....	24
II.7.13.2	Coliforme fécaux.....	24
II.7.13.3	Staphylocoques à coagulase +.....	25
II.7.13.4	Salmonella.....	25
II.7.13.5	Levures et moisissures.....	25
II.7.13.6	Anaérobies sulfito-réducteurs.....	25
II.7.13.7	Escherichia coli.....	25
II.7.13.8	Mode opératoire.....	26
II.7-13.8.1	Préparation des échantillons.....	26
II.7-13.8.2	Dénombrement des germes aérobies.....	26
II.7-13.8.3	Dénombrement des Coliformes fécaux	26
II.7-13.8.4	Dénombrement des staphylocoques à caogulase positive.....	26
II.7.13.8.5	Recherche et isolement de salmonella.....	26
II.7.13.8.6	Dénombrement de levures et moisissures	26
II.7.13.8.7	Dénombrement des sulfito-réducteurs	27
II.7.13.8.8	Dénombrement d'E.coli	27
Conclusion.....		27

CHAPITRE- III- Résultats et discussion

Introduction.....		
III.1	Les résultats du séchage.....	29
III.1.1	Mesure de la masse sèche.....	29
III.1.2	Les paramètres nécessaires de cinétique de séchage.....	29
III.1.3	Les conditions climatiques.....	29
III.1.4	La cinétique de séchage.....	31
III.2	Les résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques	34
III.2.1	Taux d'humidité.....	34
III.2.2	Mesure de la couleur.....	34
III.2.3	Résultats de dosage des Polyphénols Totaux.....	39
III.2.3.1	La courbe d'étalonnage.....	39
III.2.4	Dosage des fibres au Détergent Neutre (NDF) -Milieu Basique.....	41

III.2.5	Dosage des fibres au Détergent Acide (ADF) -Milieu Acide.....	41
III.2.6	Activité de l'eau	42
III.2.7	Dosage des Protéines	43
III.2.8	Dosage de matières grasses (Les lipides).....	44
III.2.9	Dosage des glucides.....	44
III.2.10	Taux des Cendres.....	45
III.2.11	Mesure du pH.....	45
III.2.12	Test de digestion.....	46
III.2.13	Analyse microbiologique.....	46
III.2.14	Comparaison des différentes matières premières.....	48
III.3	formulation de produits finale issue des fractions de déchets et maïs.....	48
III.3.1	Besoin nutritionnelle pour la croissance	48
III.3.2	Besoin nutritionnelle pour l'engraissement	49
	Conclusion.....	50
	Conclusion générale.....	52
	Références bibliographiques.....	54
	Annexe- I- Les étapes expérimentales et matérielles utilisées.....	59
	Annexe- II - Les fiches techniques de quelques aliments utilisées.....	80

Résumé

Le mémoire porte sur la transformation des déchets agroalimentaires en aliments pour ruminants, notamment via le séchage solaire. L'objectif est de valoriser ces déchets, abondants et souvent gaspillés, pour fournir une source nutritive alternative et économique en alimentation animale. Après collecte des déchets de fruits et légumes, ceux-ci sont séchés par séchage solaire à l'air libre pendant trois jours, puis broyés en poudre. Cette technique permet une bonne conservation en réduisant le taux d'humidité à 1% et l'activité d'eau à 0,316, limitant ainsi la prolifération microbienne. Une caractérisation physico-chimique complète a été réalisée, comparant les déchets séchés au maïs de fourrage, ingrédient classique de l'alimentation des ruminants. Les déchets présentent une teneur élevée en protéines (11,90%), glucides (80,34%) et fibres (ADF 24,69%, NDF 43,17%), ainsi qu'une richesse en polyphénols totaux (45,16 mg EAG/g) et cendres (5,49%), avec une bonne stabilité microbiologique à l'exception d'une présence détectée de levures et moisissures. Le maïs est plus riche en glucides (86,82%), fibres (ADF 37,98%, NDF 67,91%) et présente une digestibilité plus élevée (37,52%), mais avec une teneur protéique inférieure (6,88%) et une activité d'eau plus élevée (0,545 après séchage). D'après la comparaison entre les matières premières utilisées et son adéquation aux besoins nutritionnels des ruminants ont été développées pour deux stades de production des ruminants, premier pour la croissance est un mélange de 60 % déchets et 40 % maïs, avec un profil nutritionnel équilibré (protéines environ 10,29%, glucides 82,73%, ADF 29,61%, NDF 53,27%, polyphénols 48,34 mg/g, digestibilité 20,83%). Une deuxième pour l'engraissement est un mélange de 30 % déchets et 70 % maïs, offrant un apport énergétique plus élevé (glucides 84,87%), protéines modérées (8,34%), ADF 33,79%, NDF 60,11%, polyphénols 50,96 mg/g, digestibilité améliorée à 29,03%. Ce travail souligne le potentiel prometteur des déchets de fruits et légumes comme source écologique et économique dans l'alimentation animale, contribuant ainsi à la réduction du gaspillage alimentaire et à la durabilité des systèmes agricoles en Algérie.

Mots clés : Valorisation, déchets agroalimentaires, séchage solaire, nutrition animale, ruminants, formulation d'aliments.

Abstract

The thesis focuses on the transformation of agri-food waste into feed for ruminants, particularly through solar drying. The objective is to valorize this waste, abundant and often wasted, to provide an alternative and economical source of nutrition for animal feed. After collecting the fruit and vegetable waste, it is dried by open-air solar drying for three days, then ground into powder. This technique allows good preservation by reducing the humidity rate to 1% and the water activity to 0.316, thus limiting microbial proliferation. A complete physico-chemical characterization was carried out, comparing the dried waste to corn fodder, classic ingredient of ruminant feeding. The waste has a high content of proteins (11.90%), carbohydrates (80.34%) and fiber (ADF 24.69%, NDF 43.17%), as well as a wealth in total polyphenols (45.16 mg EAG/g) and ash (5.49%), with good microbiological stability except for a detected presence of yeasts and molds. Corn is richer in carbohydrates (86.82%), fiber (ADF 37.98%, NDF 67.91%) and has higher digestibility (37.52%), but with lower protein content (6.88%) and higher water activity (0.545 after drying). According to the comparison between the raw materials used and its suitability for the nutritional needs of ruminants, it was developed for two stages of ruminant production. The first stage for growth is a mixture of 60 waste products and 40 corn, with a balanced nutritional profile. (Proteins about 10.29%, carbohydrates 82.73%, ADF 29.61%, NDF 53.27%, polyphenols 48.34 mg/g, digestibility 20.83%). A second for fattening is a mixture of 30 waste and 70 corn, offering a higher energy intake (carbohydrates 84.87%), moderate proteins (8.34%), ADF 33.79%, NDF 60.11%, polyphenols 50.96 mg/g, improved digestibility at 29.03%. This work highlights the promising potential of fruit and vegetable waste as an ecological and economic source in animal feed, thus contributing to the reduction of food waste and the sustainability of agricultural systems in Algeria.

Keywords: Valorization, agri-food waste, solar drying, animal nutrition, ruminants, feed formulation.

ملخص

تركز المذكرة على تحويل بقايا الأغذية الزراعية إلى علف للحيوانات المجترة، وخاصة من خلال التجفيف الشمسي. الهدف هو تثمين هذه البقايا الوفيرة والمهدرة في كثير من الأحيان، لتوفير مصدر بديل واقتصادي لتغذية الحيوانات. بعد جمع بقايا الفاكهة والخضروات، يتم تجفيفها بالتجفيف الشمسي في الهواء الطلق لمدة ثلاثة أيام، ثم يتم سحقها إلى مسحوق. تسمح هذه التقنية بالحفظ الجيد عن طريق تقليل نسبة الرطوبة إلى 1% ونشاط الماء إلى 0.316، وبالتالي الحد من تكاثر الميكروبات. تم إجراء توصيف فيزيائي وكيميائي كامل، ومقارنة البقايا المجففة مع الذرة، المكون الكلاسيكي لتغذية المجترات. تحتوي البقايا على نسبة عالية من البروتينات (11.90%) والكربوهيدرات (80.34%) والألياف (جم) والرماد/EAG (43.17%)، بالإضافة إلى ثروة من إجمالي البوليفينول (45.16 مجم NDF، 24.69% ADF) (5.49%)، مع ثبات ميكروبيولوجي جيد باستثناء وجود الخمائر والعفن المكتشف. الذرة غنية بالكربوهيدرات (67.91%) ولها قابلية هضم أعلى (37.52%)، ولكن مع محتوى (37.98% NDF، ADF) (86.82%) والألياف بروتين أقل (6.88%) ونشاط مائي أعلى (0.545 بعد التجفيف). وبناء على المقارنة بين المواد الخام المستخدمة ومدى ملاءمتها للاحتياجات الغذائية للمجترات، فقد تم تطويرها لمرحلتين من إنتاج المجترات. المرحلة الأولى للنمو عبارة عن خليط من 60% البقايا و40% ذرة، مع صورة غذائية متوازنة. (البروتينات حوالي 10.29%، الكربوهيدرات 53.27%، البوليفينول 48.34 ملغم/غم، قابلية الهضم 20.83%). والثاني (29.61% NDF، ADF 82.73%، للتسمين هو خليط من 30% بقايا و70% ذرة، مما يوفر استهلاكاً أعلى للطاقة (الكربوهيدرات 84.87%)، والبروتينات 60.11%، والبوليفينول 50.96 مجم/جم، وتحسين قابلية الهضم بنسبة 33.79% NDF، و ADF المعتدلة (8.34%)، و 29.03%. يسلط هذا العمل الضوء على الإمكانيات الواعدة لبقايا الفاكهة والخضروات كمصدر بيئي واقتصادي في علف الحيوانات، مما يساهم في الحد من هدر الغذاء واستدامة النظم الزراعية في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: التثمين، مخلفات الأغذية الزراعية، التجفيف الشمسي، تغذية الحيوان، المجترات، تركيب الأعلاف.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

La gestion des déchets en Algérie est un enjeu majeur, surtout en ce qui concerne le gaspillage alimentaire. Chaque année, une quantité considérable de fruits et légumes est perdue, environ 6000 tonnes par jour, que ce soit à la production, à la distribution ou au niveau des consommateurs. Ce gaspillage contribue non seulement aux problèmes environnementaux, mais aussi à la hausse des coûts alimentaires. Dans un pays où l'agriculture joue un rôle essentiel dans l'économie, la valorisation de ces déchets pourrait offrir des solutions durables. La valorisation des déchets organiques, et en particulier des déchets verts de cuisine, de marché, est une voie prometteuse pour réduire le volume des déchets mis en décharge et pour exploiter leur potentiel nutritif, cette méthode pourrait réduire le gaspillage alimentaire tout en fournissant une alternative économique pour les éleveurs. Plusieurs méthodes existent, comme le compostage, la méthanisation ou encore la production d'aliments pour animaux. Dans ce cadre, la transformation des déchets de fruits et légumes en aliments pour bétail constitue une solution durable qui permet de réduire les coûts d'alimentation animale tout en limitant le gaspillage alimentaire [1]- [3].

En réfléchissant à ces enjeux, il devient clair qu'il est nécessaire de repenser les stratégies de gestion des déchets. Cela nous amène à explorer les problèmes spécifiques liés au gaspillage alimentaire en Algérie et les objectifs de recherche qui pourront établir des solutions viables pour améliorer la situation. Les objectifs de la recherche incluent l'évaluation du potentiel nutritif des déchets de fruits et légumes, la comparaison de valeur nutritionnelle de ces déchets avec le maïs de fourrage, l'étude de mélange déchets-maïs pour produire un aliment de bétail à haut qualité pour la croissance et l'engraissement des ruminants, la faisabilité économique de cette valorisation, ainsi que l'impact sur la santé animale et la productivité [2].

Les hypothèses de recherche suggèrent que l'intégration de ces déchets dans l'alimentation animale peut non seulement réduire le gaspillage, mais aussi fournir une alternative moins coûteuse et plus écologique aux aliments traditionnels. Cela ouvre la voie à des solutions innovantes pour améliorer la durabilité de l'agriculture algérienne. L'exploration de ces thèmes nous conduira naturellement à une discussion sur la méthodologie et la pertinence de l'étude, essentielle pour valider ces hypothèses et atteindre les objectifs fixés [4] .

La méthodologie adoptée dans cette étude repose sur une approche mixte, combinant des techniques de collecte et d'analyse des données qualitatives et quantitatives. En parallèle, des analyses physico-chimiques, microbiologiques ont été réalisées pour évaluer la valeur nutritionnelle de ces déchets, maïs, la comparaison entre la qualité de chaque matière première, étude de l'importance de la valeur de mélange déchets-maïs aussi, la mise en œuvre de

procédés de transformation pour produire notre produit, afin de déterminer leur adéquation comme source d'alimentation pour le bétail. Les limites de cette étude incluent, la variabilité saisonnière des déchets disponibles, la nécessité des tests à plus grande échelle, les essais sur animaux nécessitent des durées prolongées pour valider pleinement les effets à long terme. Les contraintes sanitaires et réglementaires limitent l'utilisation de certains types de déchets [5] .

Malgré potentiel évident des déchets de fruits et légumes, leur valorisation reste insuffisamment développée en Algérie. Le gaspillage alimentaire demeure élevée, avec environ 15 millions tonnes chaque année [1]-[6]. Dans ce contexte, comment optimiser la valorisation de ces déchets pour en faire une ressource fiable et durable destinée à l'alimentation animale ? Quels sont les procédés peuvent être adaptés aux conditions locales pour garantir la qualité nutritionnelle des aliments produits ?

Le travail exposé dans cette étude s'articule en deux chapitres, le premier chapitre consacré à (Généralités sur la valorisation agricole en alimentation animale). Ce chapitre aborde la valorisation de déchets agricoles, en définissant les concepts, en présentant les enjeux environnementaux et économiques, ainsi que les différentes approches de valorisation comme le compostage, le biogaz et l'alimentation animale. Il traite ensuite du séchage des fruits et légumes, en expliquant les principes, les méthodes (séchage à l'air libre, solaire, industriel) et l'influence du séchage sur la qualité nutritionnelle. Enfin, il s'intéresse à l'alimentation animale et à la formulation des aliments, les besoins nutritionnels des animaux, le rôle des fruits et légumes séchés, et en donnant des exemples d'aliments enrichis en sous-produits végétaux. Le deuxième chapitre intitulé par 'Matériels et Méthodes', décrit le choix et la sélection des matières premières, le procédé de séchage et leur mise en œuvre, ainsi que le suivi du processus. Il présente aussi les analyses physico-chimiques réalisées, la formulation de mélange final, en insistant sur les proportions l'optimisation et les critères de qualité. Le troisième chapitre est consacré aux résultats et à la discussion. Il expose les résultats du séchage, analyses les résultats des analyses physico-chimiques des différentes matières premières. Il discute enfin la formulation de l'aliment final, en comparant le mélange déchets-maïs avec les aliments conventionnels pour animaux.

**CHAPITRE - I -
GÉNÉRALITÉS SUR LA
VALORISATION AGRICOLE EN
ALIMENTATION ANIMALE**

Introduction

Les déchets de fruits et de légumes, produits massivement lors d'activités domestiques, agricoles et commerciales, constituent un défi majeur tant sur le plan environnemental qu'économique. Leur valorisation, notamment grâce à des techniques telles que le séchage, contribue à prolonger leur durée de vie, à maintenir leurs valeurs nutritives et à les réintroduire dans le processus de production, en particulier pour l'alimentation animale.

I.1-Valorisation des déchets agroalimentaires

I.1.1- Définition et enjeux

I.1.1.1-Définition des déchets

Le terme déchet peut revêtir plusieurs sens, ce qui entraîne parfois une certaine confusion. Dans son acception la plus large, il désigne l'ensemble des résidus générés par les activités humaines, qu'ils proviennent des ménages, des industries ou des exploitations agricoles. La loi algérienne n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets en donne la définition suivante : Tout matériau, substance ou bien meuble issu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, dont le détenteur se défait, envisage de se défaire ou est tenu d'éliminer [7].

I.1.1.2-Les enjeux des déchets

I.1.1.2.1-Enjeux politiques

La spécificité des déchets est un instrument précieux pour la prise de décisions, préconisé aux collectivités. Son adoption témoigne d'une réelle volonté politique d'établir une activité de supervision durable. Les autorités désireuses de l'implémenter devraient avoir accès à des données qualitatives et quantitatives relatives à leur gestion. Effectivement, la spécificité des déchets offre un principal d'informations et de détails de référence qui peuvent soutenir les autorités locales dans leurs décisions concernant la gestion et le traitement des déchets. Toutefois, obtenir des informations de qualité mène inévitablement les décideurs à prendre des décisions éclairées. Toutefois, pour obtenir des informations pertinentes, il est essentiel que les décideurs réalisent des études régulières en vue de suivre les transformations et les évolutions de la société. Ceci leur offrira la possibilité d'affiner la sélection des projets potentiels de contribuer à l'élimination des enjeux liés aux déchets [8].

I.1.1.2.2-Enjeux socio- économiques

Une meilleure optimisation des méthodes de traitement et la récupération du potentiel valorisable peuvent être réalisées grâce à la connaissance des emplacements des déchets.

Puisqu'elle permet de prévoir des investissements économiques. Effectivement, l'établissement des groupes de tri et de valorisation des déchets. Elle permet de bâtir une économie verte et sociale en offrant des opportunités d'emploi aux individus peu ou pas qualifiés, ou encore marginalisés. L'identification des rejets autorise dans cette signification, de mieux concilier les bienfaits socio-économiques et la sauvegarde de l'environnement [8].

1.1.1.2.3-Enjeux environnementaux et sanitaires

Avoir accès à des informations qualitatives sur les déchets par zone géographique facilitera l'évaluation précise des dangers environnementaux et de santé potentiels liés aux substances présentes dans les déchets. Effectivement, chaque catégorie ou portion des déchets présente des dangers sont inhérents à sa nature, aux conditions de l'environnement et aux changements soudains [8]. Ils existent plusieurs types des déchets et donc notre travail est basé sur les déchets agroalimentaires comme les déchets des fruits et des légumes.

1.1.2. Les déchets des fruits et des légumes

Les déchets de légumes représentent une portion significative des détritiques produits dans les domiciles, les restaurants et les marchés. Leur décomposition biologique rapide favorise leur fermentation qui génère une quantité importante de biogaz. Ces déchets proviennent de légumes tels que les carottes, pommes de terre, courgettes, aubergines, choux, choux-fleurs, tomates, et bien d'autres encore. Les déchets des fruits sont des déchets similaires à celle des légumes, provenant de l'activité agricole. Ils sont biodégradables et non dangereux, et se déclinent en différentes sortes comme les résidus de fraises, pommes, oranges... etc. [9].

1.1.3- Impact des déchets de fruits et légumes

1.1.3.1-Impact environnemental

La présence de déchets de fruits et légumes dans la nature, sur les marchés et autres lieux où ils se trouvent a des répercussions sur l'environnement, notamment:

1-1.3.1.1-Effet de serre

Depuis le début de l'ère industrielle, les activités humaines telles que la combustion du charbon, du pétrole et du gaz, la déforestation, l'expansion considérable de l'agriculture, ainsi que l'utilisation d'engrais, de réfrigérateurs et de climatiseurs ont profondément altéré la composition chimique de notre atmosphère. Certains gaz émis, comme le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), ainsi que les chloro et

hydrofluorocarbures (CFC, HFC), absorbent les radiations infrarouges et contribuent ainsi à l'effet de serre [10].

I-1-3-1.2-La dégradation de la biodiversité et l'écosystème

La détérioration de l'environnement entraîne une réduction de la diversité biologique et des dommages aux écosystèmes, principalement causés par des facteurs comme le déboisement, la pollution et les changements climatiques. Ces activités portent atteinte aux habitats, réduisent la diversité des espèces et compromettent la sécurité des écosystèmes. Les conséquences comprennent une vulnérabilité accrue aux catastrophes naturelles et une dégradation de la santé environnementale, ce qui influence finalement le bien-être humain [11].

I-1-3-1.3-L'effet de la décomposition de déchets sur la pollution

La réduction des déchets alimentaires diminue efficacement la pollution en déshydratant et extrayant l'huile des résidus alimentaires, ce qui réduit la contamination des matériaux recyclables, empêche les mauvaises odeurs et freine la diffusion des microbes, contribuant ainsi à préserver l'environnement naturel contre les polluants issus des ordures [12].

I-1-3-1.4-La consommation excessive de ressources naturelles

Un usage abusif des ressources naturelles, aussi appelé surconsommation, entraîne l'épuisement de ces dernières et la dégradation de notre cadre naturel, ce qui contribue à la pollution et au réchauffement planétaire. Ce phénomène a des répercussions à l'échelle mondiale, nationale et sociétale, soulignant la nécessité de comprendre ses origines et ses conséquences [13].

I.1.3.2- Impact économique de déchets des fruits et des légumes

L'exploitation des rejets de fruits et légumes a des impacts économiques, y compris les bénéfices potentiels liés à la vente des résidus, une diminution des dépenses associées à la manipulation des déchets et une rentabilité pour les entreprises d'extraction. On anticipe des revenus sur investissement importants après quelques années d'activité [14].

I.1.3-Approches de valorisation

La gestion des déchets agroalimentaires repose sur l'utilisation d'insectes pour le bio craquage, qui transforme ces déchets en biomasse destinée à nourrir les animaux et à produire des engrais biologiques. Le microbe intestinal des insectes est essentiel pour améliorer les processus de développement et de bioconversion, offrant ainsi des solutions aux enjeux de sécurité publique et environnementaux liés à la gestion des déchets [15]. On a multiple-approches de valorisation notamment :

1.1.3.1. Compostage

Le compostage des déchets est un approche uniquement naturel et biologique, il se réfère à la dégradation des déchets organiques et bio-dégradables par les micro-organismes (bactéries), en présence d'oxygène et d'humidité, pour produire ce qu'on appelle le compost ou le nutriment. Le compostage est faisable simplement pour les résidus biodégradables dont le temps de décomposition ne dépasse pas six mois (les restes alimentaires, les feuilles, la pelouse, le papier, etc.) [8].

1.1.3.2. Biogaz

Le bio gaz, principalement composé de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂), est une source d'énergie renouvelable générée par la digestion anaérobie de matières organiques biodégradables. Il propose différentes applications, y compris la génération d'énergie et la production de compost organique, améliorant par conséquent les méthodes agricoles [16].

1.1.3.3-Alimentation animal

En fonction de leurs caractéristiques, de leur présentation, ainsi que de leur qualité hygiénique et nutritive, certains déchets peuvent être valorisés en tant que matières premières dans L'alimentation Animale, obtenant ainsi le statut de coproduit. Les animaux visés incluent principalement ceux d'élevage, tels que les bovins, les équins et les ovins. Cette évaluation ne peut être effectuée que si une source durable est garantie en Algérie [24].

I.2-Le séchage des fruits et des légumes

I.2.1. Principe du séchage

La notion de séchage repose sur le fait d'enlever l'humidité des substances par différentes méthodes, principalement impulsées par le transfert thermique et la dispersion de vapeur. Ce procédé est crucial dans divers domaines, y compris la préservation des nourritures et les articles pharmaceutiques, où il renforce la stabilité et la longévité des produits. La cinétique du séchage, qui englobe différentes étapes comme des phases à vitesse stable et décroissante, est déterminée par divers éléments tels que la chaleur, et le flux d'air, Ces sont les éléments clés de la règle de séchage [17].

I.2.2- Méthodes de séchage

1.2.2.1. Séchage à l'air libre

Technique ancienne toujours en usage aujourd'hui, qui consiste à disposer les produits à sécher de manière exposée pour leur déshydratation. C'est une méthode simple et abordable, cependant elle peut entraîner des pertes significatives. Un tableau de comparaison a été

élaboré, soulignant les points forts et les points faibles de l'évaporation à l'air libre par rapport au séchage en séchoir. Afin d'améliorer ces méthodes traditionnelles, les experts ont choisi de se tourner vers le séchage artificiel en concevant plusieurs versions prototypes de séchoirs solaires [18].

1.2.2.2. Séchage au soleil

Dans les pays en voie de développement, le séchage à l'aide du soleil est une technique prisée, rentable et efficace, mise en œuvre pour le séchage et la préservation de produits agricoles, alimentaires ainsi que de divers autres biens. L'utilisation de l'énergie solaire pour le séchage des éléments agricoles alimentaires est une application économiquement viable. Cependant, le séchage industriel nécessite de grandes quantités de combustibles conventionnels pour produire de l'air chaud. Il existe plusieurs méthodes de séchage. La machine à tamiser se présente sous diverses formes en fonction des méthodes de transfert thermique, du coût, du type d'énergie utilisée et du mode de circulation du fluide [19] .

1.2.2.3-Le séchage à l'échelle industrielle

Les séchages est une opération unitaire cruciale dans plusieurs domaines, notamment dans la fabrication de produits alimentaires, où il est indispensable pour conserver et optimiser la valeur des articles. Les avancées récentes en matière de technologie de séchage se sont concentrées sur l'accroissement de l'efficacité, la diminution de l'utilisation d'énergie et l'atténuation de l'impact écologique. Ces innovations reposent sur l'évaporation solaire, les inédits procédés de séchage et les procédés de simulation sophistiquées [20].

1.2.3-Influences sur la qualité nutritionnelle, les caractéristiques sensorielles et la durée de conservation

1.2.3.1.-Valeur nutritive

Une des propriétés bénéfiques de l'Haute Pression Hydrostatique est son influence négligeable sur la valeur nutritive des aliments. Cette technique conserve généralement mieux les degrés de nutriments sensibles à la température, d'antioxydants et d'autres composés bioactifs que les méthodes conventionnelles de cuisson [21].

1.2.3.2-Attributs relatifs aux sens

L'Haute Pression Hydrostatique a un impact minimal sur les caractéristiques sensorielles des aliments, telles que la saveur, la coloration et la texture. Cela est bénéfique pour préserver la qualité des éléments coûteux, ce qui le réalise approprié pour une grande variété de catégories d'aliments [22].

1.2.3.3-Temps de conservation

L'HPP allonge la durée de vie des aliments en neutralisant les bactéries et les enzymes qui causent leur dégradation. Cette technique de préservation permet de conserver la qualité du produit sur une durée prolongée sans recourir à des additifs en excès ou à des températures élevées [23].

I.3-Alimentation animale et formulation des aliments

L'élaboration de la nourriture animale est cruciale pour satisfaire aux exigences nutritionnelles, optimiser les rendements en matière de production et de reproduction, ainsi que pour maximiser le bénéfice du cheptel. Cela implique de saisir le potentiel nutritif des aliments à disposition et les exigences particulières des diverses espèces animales [25].

I.3.1-Besoins nutritionnels des animaux

1.3.1.1- Les besoins nutritionnels des agneaux et chevreaux

Les exigences alimentaires des animaux (petites Moutons, Chèvres) visés fluctuent en fonction de leur espèce, de leur taille, de leur âge et de leur degré d'activité. Il est crucial de maintenir un équilibre entre les nutriments essentiels et l'énergie ingérée, en apportant des modifications selon la croissance, l'allaitement et la production, pour assurer une nutrition efficace et une santé métabolique optimale [26].

Tableau I.01: Les besoins nutritionnels des agneaux et chevreaux [27]-[40].

Paramètre	Moutons (agneaux)	Chèvres (chevreaux)
Masse (g)	100	100
Energie (kcal/g)	117 - 208	103
Eau (%)	10-12	10-12
Protéines(%)	16-18	18-20
Lipides(%)	3-5	4-6
Glucides(%)	40-50	45-55
ADF(%)	20-25	18-22
NDF(%)	30-35	25-30
Cendres (%)	6-8	5-7
Digestibilité (%)	65-75	70-80
pH optimal	6-6,5	6,2-6,8

I.3.1.2- Le besoin nutritionnelle des ruminants

Tableau I.02: Les besoins nutritionnels des ruminants [41]-[43].

Paramètre	Bovins	Ovins	Caprins
Energie kcal/100g	250-300	180-280	180-280
Eau%	10-15	10-15	10-15
Protéines%	15-21	15-21	15-21
Lipides %	<5% de MS	<5% de MS	<5% de MS
Glucides %	40-55	40-55	40-55
ADF%	25-35	30-40	30-40
NDF%	40-55	50-65	50-65
Polyphénols totaux mgEAG/g	1-5	2-8	2-8
Cendres%	5-7	5-7	5-7
Ph optimale	6	6	6
Digestibilité%	60-70	55-65	55-65

I.3.2-Role du maïs et des fruits séchés dans l'alimentation animale

I.3.2.1- Rôle du maïs

Le maïs est crucial pour l'alimentation animale, car il produit l'énergie principale dans le régime alimentaire du bétail, surtout pour les oiseaux et les ruminants. Le profil nutritionnel de cet aliment, incorporant des lipides, des protéines et des vitamines indispensables, contribue à la santé et au rendement des animaux. L'amélioration de la qualité des lipides dans la progression du maïs protéiné de standard (QPM) a accru sa valeur, le rendant davantage approprié pour les animaux à un seul estomac. Voici les principaux éléments concernant la fonction du maïs dans l'alimentation des animaux [29].

I.3.2.1.1- Constitution nutritionnelle

Le maïs, riche en glucides, sert d'importante source d'énergie pour le bétail. Ce produit renferme des vitamines et minéraux indispensables qui participent à la santé globale des animaux. Les variétés QPM présentent des teneurs supérieures en lysine et en tryptophane, ce qui améliore la valeur des protéines pour l'alimentation des animaux [29].

I.3.2.1.2- Application dans l'alimentation animale

Le maïs est couramment incorporé dans le régime alimentaire des volailles, cependant sa

teneur réduite en protéines exige fréquemment un apport supplémentaire en acides aminés. L'intégralité de la plante de maïs peut servir à l'ensilage, ce qui améliore la qualité du fourrage destiné aux animaux ruminants et optimise l'apport énergétique [30].

I.3.2.2-Rôle du maïs et des fruits séchés dans l'alimentation animale

Les fruits séchés ont une place significative dans l'alimentation animale, principalement comme sources de nourriture alternatives qui favorisent la santé et augmentent la productivité des animaux d'élevage. Intégrer ces éléments dans le régime alimentaire des animaux pourrait favoriser la fermentation rumine, améliorer l'assimilation des nutriments et optimiser les résultats globaux des animaux [31].

I.3.2.2.1-Bienfaits nutritionnels

Le marc de pomme et autres fruits secs sont des sources appréciables de nutriments indispensables tels que les protéines, les lipides et les fibres alimentaires, capables de substituer aux produits alimentaires traditionnels. Des fruits secs comme les fleurs de Brésil et l'argousier sont réputés pour leur forte concentration en protéines et en graisses, qui aide à augmenter le poids d'énergie des bêtes [32].

I.3.2.2.2-Conséquences écologiques et économiques

L'emploi de fruits déshydratés et de résidus issus du secteur agroalimentaire peut contribuer à minimiser les déchets et à réduire les frais de nourriture, ce qui soutient un élevage respectueux de l'environnement. L'intégration de fruits secs dans l'alimentation a été liée à une réduction des émissions de méthane, contribuant ainsi à la longévité environnementale de l'élevage [33].

Conclusion

La conversion de ces déchets en ressources bénéfiques aide à diminuer la pollution, à améliorer l'efficacité des coûts de production et à promouvoir une économie circulaire qui préserve l'environnement. Cette approche, qui allie progrès technologique et gestion durable, contribue à améliorer la sécurité alimentaire et la rentabilité des chaînes de production agricoles.

CHAPITRE- II- MÉTHODES ET MATÉRIELS

Introduction

Ce chapitre détaille les matériaux employés et les techniques mises en œuvre pour la transformation et l'analyse des résidus de fruits, légumes, ainsi que du maïs fourrager, dans le but de leur intégration dans l'alimentation des animaux. Les phases détaillées comprennent le choix des matières premières, leur préparation, le séchage, suivi par les analyses physico-chimiques, nutritionnelles et microbiologiques. Cette approche systématique garantit la qualité, la valeur nutritionnelle et la sûreté sanitaire des produits issus du processus.

II.1-Équipements et appareils

Balance, balance électrique, tamis, Support pour le séchage solaire, broyeur type Siyo lux ,étuve ,four a moufle, chauffe ballon, Plaque chauffante ,bain-marie, réfrigérant, montage de distillation simple, ballon, pompe à vide , Entonnoir, Soxhlet extracteur, évaporateur rotative, chromatographe UV visible, appareil de mesure de l'activité de l'eau (Novasina), Le pH mètre tubes a essai ,support des tubes à essai , micro pipette ,pipette de 10 ml avec une poire, éprouvette ,bécher, tubes de centrifugation , les boites pétris, centrifugeuse, incubateur à 37°C,papier aluminium, filtre (papier filtre sans cendres ou creuset fritté de porosité fine), bateau à combustion en céramique , papiers de filtration , feuilles de boules , cartouche ,coton, spatule, flamme pour la stérilisation.

II.2- Produits chimiques et réactifs

Eau distillée, Méthanol 80%, Na_2CO_3 ,Folin-Ciocalteu,Acide gallique, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$,EDTA,Sulfate de sodium, Lauryl sulfate de sodium, alpha-Analyse thermostable, Na_2SO_3 , Acide sulfurique, NaOH, Phénolfatalin, Acide borique, Méthyle orange, HCl 0,2N,Eau physiologique, Alun de Fer.

II.3- Milieux de culture

-VRBG (Violet Red Bile Glucose),PCA(Plate Count Agar),VRBL(Violet Red Bile Lactose agar) ,MSA(Mannitol Salt Agar / Chapman) ,VF(Viande-foie) ,Baird-Parker, Sabouraud Dextrose Agar.

II.4-Échantillons et matières premières

Déchets des fruits et des légumes, le maïs de fourrage.

II.5-Matières premières

II.5.1-Sélection des fruits et légumes

Les restes de légumes et de fruits non consommables ont été obtenus sur le marché local de Ouargla. Nous avons utilisé des betteraves, des fenouils, des oignons rouges, des fèves, des concombres, des kiwis, des mangues, des oranges, des pommes riches en métaux et des aliments essentiels importants pour la nutrition animale. Les restes ont été séchés après avoir été coupés en morceaux d'afin d'accélérer le processus de séchage solaire et suivre son mécanisme, puis broyés jusqu'à ce qu'en poudre douce. Celle-ci est obtenue à partir des restes de légumes et de fruits. L'échantillon a ensuite été stocké dans des sacs transparents dans un environnement sec pour qu'il soit utilisé dans d'éventuelles expériences.

II.5.2-Choix de maïs

Le maïs est l'une des principales cultures céréalières du monde. Il fournit des aliments pour l'homme et les animaux, ainsi que la matière première à l'industrie, en fonction de la quantité et de la qualité du rendement. Le maïs joue un rôle important dans les systèmes de production animale, car il est souvent la principale source d'énergie fournie dans l'alimentation des animaux [34].

Le choix du maïs pour les aliments des animaux dépend de nombreux facteurs. Par exemples le type, la qualité nutritionnelle, la disponibilité,...etc.

En Algérie, il existe plusieurs types de maïs. Ils sont cultivées dans de nombreux Wilaya iimmédiatement après la récolte de blé tel que El Menia (ferme de Elhadj Hadjadj) et à Ouargla à **ITDAS** (institut technique de développement de l'agriculture saharienne) de Hassi Ben Abdeallah. Dans notre travail, nous sommes basés sur le maïs de fourrage, parce qu'il est le plus célèbre dans les aliments d'animaux comme les ruminants, les bovins laitiers.

La quantité de maïs de fourrage a été séchée à l'air libre pendant scinques jours puis broyée jusqu'en poudre.

II.6-Procédés de séchage

L'objectif principale de séchage solaire dans notre travail est l'élimination de quantité d'eau sur les déchets de légumes et de fruits, maïs de fourrage afin d'arrêter la vie microbiologique pour éviter la pourriture et assurer un bon stockage

II.6.1-Conditions de séchage à l'air libre**II.6.1.1-Température**

La température est nécessaire pour le séchage sachant que la température élevée qui accélère le séchage.

II.6.1.2-Humidité

L'humidité élevée d'air qui ralentit le procédé de séchage par contre l'humidité faible accélère ce processus.

II.6.1.3-Circulation d'air

La circulation parfaite de l'air qui accélère le séchage par évaporation naturelle.

II.6.1.4-Durée du séchage

La durée nécessaire pour le séchage de fruits et légumes est entre 2 et 5 jours selon les conditions météorologiques.(dans ce travail la durée est trois jours)

II.6.1.5-Surface exposée

Plus les surfaces des déchets sont mises en contact avec l'air, plus elles se dessèchent vite, facilitant ainsi la fuite de l'eau à travers les pores des aliments.

II.6.2-Conditions climatiques

Les conditions météorologiques sont cruciales pour le processus de séchage. A la fin d'un séchage optimal, il est nécessaire de surveiller les radiations de soleil, la température et l'humidité environnantes, pour permettre un séchage régressant et maintenir la qualité du produit. Cependant, il est nécessaire de garder la qualité des produits finis.

II.6.3-Suivi et contrôle de processus

La surveillance et le contrôle du séchage à l'extérieur nécessitent une attention particulière pour assurer une qualité maximale du produit fini. Les données météorologiques et les outils simples tels que les thermomètres et les jauges d'hydratation, les balances sont généralement utilisés pour surveiller la température ambiante et l'humidité et la variation de la quantité de la matière. Les produits séchés comme les fruits et légumes, sont généralement disposés de manière à augmenter l'exposition à l'air et au soleil sans gêner les zones qui peuvent retarder le séchage. Pour éviter le retour de l'humidité, il est important de ne pas interrompre le séchage durant la nuit.

II.6.4-Mode Opératoire

Nous apportons la matière première (les déchets des fruits et légumes) et les coupons en tranches. Puis nous apportons dix tamis et nous les pesons vides. Nous pesons 100g de matière première par balance électronique et nous mettons chaque 100g dans chaque tamis. Ensuite nous mettons les tamis à l'air libre afin de les sécher. Nous laissons sécher jusqu'à ce que nous arrivions à stabiliser la masse (durant trois jours). Après que le séchage solaire se termine, nous écrasons les déchets jusqu'à ce que nous obtenons une poudre puis on stocke le produit dans des sachets en plastiques. Pour le maïs de fourrage (feuilles, tiges et fruits), on fait la même opération de séchage à l'air libre puis on broyé jusqu'en poudre. Puis on mélange les feuilles, les tiges, et le maïs pour faire les analyses nécessaires.

II.6.5-Mesure de la masse sèche

La mesure de la masse sèche dans est faite une étape essentielle pour déterminer la quantité de matière solide restante après le séchage, contrôler le processus et optimiser la gestion des déchets étudiés. La masse sèche est donnée par l'équation suivante:

$$M_s = \frac{\text{poids total} - \text{poids vide}}{\text{prise d'essai}} \quad (\text{Eq.II.1})$$

II.6.5.1-Mode Opératoire

Premièrement nous pesons le tamis en vide, puis nous ajoutons 100 g de déchets, après cette étape nous les séchons dans l'étuve à 105°C durant 12 h. Après le séchage les déchets sont pesés et la masse sèche est calculée. (Voir le **tableau III.1**)

II.7-Analyses physico-chimiques

II.7.1-Taux d'humidité

L'objectif de mesure de l'humidité de déchets et du maïs est pour savoir leur qualité, la manière de stockage, l'effet de séchage, etc.

II.7.1.1-Humidité absolue (Teneur en eau à base sèche)

L'humidité absolue ou bien la teneur en eau à base sèche d'un solide est représentée par le rapport de masse de liquide contenue dans le produit sur la masse de sa matière sèche.

L'humidité absolue est donnée par l'équation suivante:

$$H\% = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100 \quad (\text{Eq.II.2})$$

Ou bien:

$$X_s = \frac{Me}{Ms} = \frac{Mh - Ms}{Ms} \quad (\text{Eq.II.3})$$

II.7.1.2-Humidité relative (Teneur en eau à base humide)

L'humidité relative ou bien la teneur en eau à base humide d'un solide représentée par le rapport de masse de liquide contenue dans le produit sur la masse de sa matière humide .

L'humidité relative donnée par l'équation suivante:

$$H\% = \frac{Ms - Mh}{Mh} \times 100 \quad (\text{Eq.II.4})$$

Ou bien:

$$X_h = \frac{Me}{Ms} = \frac{Ms - Mh}{Mh} \quad (\text{Eq.II.5})$$

II.7.1.3-Mode Opérateur

Nous disposons de deux boîtes de pétri, puis nous les pesons à vides par balance électronique avant d'ajouter les déchets sachant que $E_1=33,0141\text{g}$ et Peser les déchets sachant que $M_1=3,0280\text{g}$ et ajoutez-les aux boîtes pétri. Et sécher dans l'étuve à 105°C durant 12 h, ensuite on sort les boîtes de l'étuve et laisser refroidir puis mesurer les masses finales. Finalement on calcule l'humidité absolue de produit (voir le **tableau III.09**).

II.7.2-Mesure de la couleur

Le colorimètre a été utilisé pour déterminer les valeurs de couleur (L^* , a^* , b^* , c^* , h) des déchets des fruits et légumes frais broyés et de l'échantillon du même produit et du maïs de fourrage séchés. Les coefficients L^* , a^* , b^* , c^* , h et ΔE désignent respectivement le facteur de luminosité, le facteur de couleur rouge, le facteur de couleur jaune et l'indice de couleur relatif. L'équation suivante a été utilisée pour calculer la valeur totale de l'écart de couleur (ΔE) des déchets et du maïs:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^*{}^2 + \Delta a^*{}^2 + \Delta b^*{}^2} \quad (\text{Eq.II.6})$$

II.7.2.1-Mode opératoire

Nous déposons d'un échantillon des déchets et nous le mettons sur du papier blanc. On ouvre le colorimètre puis on calibre avec une référence de couleur noire et couleur blanche. Nous mettons le colorimètre juste au-dessus de l'échantillon et nous mesurons la coloration en cliquant sur le bouton test. On lit les valeurs de (L^* , a^* , b^* , c^* , h) trois fois. On fait la même opération pour les restes des produits et on calcule ΔE . (Voir les tableaux **tableau III.10**, **tableau III.11**, **tableau III.12**)

II.7.3-Dosage des Polyphénols Totaux

La détermination des polyphénols totaux à l'aide du réactif de Folin-Ciocalteu a été exposée dès 1965 (Singleton et Rossi). Depuis, son emploi s'est considérablement diffusé pour décrire les extraits de plantes d'origines variées. Le réactif Folin-Ciocalteu se compose d'un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). Lors de l'oxydation des phénols, il se transforme en un assemblage d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (Ribéreau-Gayon, 1968). La teinte générée, dont le pic d'absorption se situe entre 725 et 760 nm, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux [36].

II.7.3.1-La courbe d'étalonnage

Le composé phénolique de l'acide gallique a une absorption visible dans les ultraviolets en raison des groupes hydroxyle et du système conjugué. Il peut être quantifié pour son absorbance à une longueur d'onde spécifique par spectrophotométrie Uv-visible, qui sera proportionnelle à sa concentration en solution selon la loi de Beer-Lambert.

-Préparer une courbe d'étalonnage avec des concentrations connues d'acide gallique, 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 et 1 mg/ml(**tableau III.13**), utiliser cette courbe pour quantifier les polyphénols, en mgEAG/gES. Puis on calcule les polyphénols totaux à l'aide de cette courbe(**figure III.06**) .On utilise l'équation suivante :

$$\text{Polyphénols en mg EAG/g ES} = \frac{C_{ag} \times VE}{1000 \times PES} \quad (\text{Eq. II.7})$$

II.7.3.2-Mode opératoire

Les polyphénols sont extraits par macération de 1,2178g de poudre de déchets dans 8 ml de méthanol 80% et 2 ml d'eau distillée dans un tube à essai enveloppé dans du papier d'aluminium pendant 24 h à la température ambiante 25°C. Après un jour de macération nous prenons avec une micropipette 100 µl d'extrait dans des tubes à essai puis on ajoute 2ml de

carbonate de sodium à l'aide d'une pipette, on laisse déposer et reposer durant 30 minutes. Ensuite on ajoute 1 ml du réactif Folin-Ciocalteu diluée 10% (1/10) dans un tube à essai et on laisse l'autre tube comme témoin, on laisse reposer dans l'obscurité pendant 5 minutes. Après cette étape on mesure l'absorbance de deux tubes dans un spectrophotomètre uv-visible à 760nm et on marque les résultats. C'est le même processus avec la macération de 1,0092g de poudre de maïs et on marque les résultats (voir le **tableau III.14**).

II.7.4-Dosage des fibres au Détergent Neutre (NDF) -Milieu Basique

La détermination des fibres au Détergent Neutre est un indicateur principalement employé dans l'analyse des aliments pour les animaux, correspond à la cellulose, l'hémicellulose et la lignine, c'est-à-dire l'ensemble des composants cellulaires présents dans les plantes.

On peut calculer le NDF d'après l'équation suivante:

$$\text{NDF}\% = \left(\frac{M_f}{M_i} \right) \times 100 \quad (\text{Eq.II.8})$$

II.7.4.1-Mode opératoire

Premièrement peser 2,0253g de déchets secs finement broyés à l'aide d'une balance électrique, puis ajouter 100ml de solution NDF et 100ml d'eau distillée ,0,5 g de Na_2SO_3 dans un ballon. Après cette étape chauffer sous reflux à 100°C pendant une heure à. Ensuite agitant régulièrement et filtrer sous vide a l'aide de papier filtre de porosité 110 mm, lever avec l'eau chaude et ajouter quelques gouttes d' α -Analyse. Finalement sécher dans une étuve à 105°C jusqu'à poids constant et peser puis calculer du NDF%(voir le **tableau III.15**). Pour le maïs on fait la même procédure mais on pèse 2,0106g.

II.7.5-Dosage des fibres au Détergent Acide (ADF) -Milieu Acide

Les fibres dérivées des déchets de fruits, de légumes et du maïs destinées à l'alimentation animale visent à offrir une source de fibres végétales qui favorise la digestibilité, l'apport nutritif, la santé intestinale et le bien-être des animaux. Parallèlement, elle permet d'optimiser la fabrication et la rentabilité des exploitations agricoles. Les fibres au Détergent Acide sont données par l'équation suivante:

$$\text{ADF} \% = \left(\frac{M_f}{M_i} \right) \times 100 \quad (\text{Eq.II.9})$$

II.7.5.1-Mode opératoire

Nous déposons de 2,77 ml d'acide sulfurique, on ajoute l'eau distillée, ensuite nous pesons 1,1139g de déchets et 1,0578 de maïs . Puis nous mettons chaque échantillon dans 100 ml de solution à part dans un ballon. Après cette étape, nous les chauffons pendant une heure, nous filtrons la solution à l'aide d'un papier filtre sans cendres et nous laissons le résidu

sécher, puis on pèse chaque matière. Enfin, nous calculons le ratio des fibres. (voir le **tableau III.16**)

II.7.6-Activité de l'eau

Dans le domaine de la science nutritionnelle, l'activité de l'eau (a_w) est un élément essentiel puisqu'elle détermine la disponibilité de l'eau pour les processus chimiques et la prolifération des micro-organismes. Le rapport entre la tension de vapeur d'eau contenue dans un produit et celle de l'eau pure. L'activité de l'eau est essentielle pour la conservation des aliments, puisqu'elle influe sur leur durée de préservation et leur sûreté. L'activité de l'eau donnée par la formule suivante:

$$a_w = \frac{p}{p_s} \quad (\text{Eq.II.10})$$

II.7.6.1-Mode opératoire

Le but de mesurer l'activité de l'eau dans une substance est de connaître la quantité d'activité de l'eau. Nous mettons une quantité de déchets dans une boîte dans l'appareil, puis nous lisons la valeur affichée sur l'écran de l'appareil (trois lectures). Voir les résultats dans (**tableau III.17, tableau III.18**). C'est le même processus. Voir les résultats dans le troisième chapitre. (**tableau III.19, tableau III.20**)

II.7.7-Dosage de Protéines

L'objectif du dosage des protéines dans les résidus de légumes, de fruits et du maïs utilisés pour l'alimentation bétail est de déterminer leur valeur nutritive pour optimiser leur utilisation en tant qu'ingrédients dans l'alimentation animale. Cette analyse permet d'identifier la concentration en protéines brutes, qui est cruciale pour juger leur valeur nutritive et ajuster les compositions alimentaires en fonction des exigences des bétail, qu'elles soient à estomac simples ou composées.

On calcule la teneur en protéines à l'aide des équations suivantes:

$$\text{Nitrogen \%} = \frac{1,4 \times N \times (V_1 - V_0)}{P} \quad (\text{Eq.II.11})$$

$$\text{Protein \%} = \text{Nitrogen \%} \times F \quad (\text{Eq.II.12})$$

II.7.7.1-Mode opératoire

Nous pesons 2,0225 g de déchets et 7 g de catalyseur CuSO_4 . Nous mettons chaque échantillon dans un ballon et nous ajoutons 20 ml d'acide sulfurique. Ensuite nous mettons les mélanges sur plaque

chauffante à 250C° pendant une heure jusqu'à ce qu'il soient verts. Puis pour chaque mélange on ajoute 60 ml de NaOH et graduellement de l'eau distillée jusqu'à ce qu'il atteigne la taille de 250 ml et quelques gouttes de phénolfatalin. Pour chaque mélange, on ajoute 20 ml d'acide borique et des gouttes de méthyle orange dans le distillat récupéré des 250 ml de solution. Après cette étape, on fait le dosage de distillat obtenu avec HCl et on ajoute quelques gouttes de phénolfatalin. Nous versons l'acide lentement et puis nous arrêtons au virage, le volume versé est celui qui aide à calculer la protéine (voir le **tableau III.21**). C'est le même processus, mais on pèse 2,2270 g de poudre de maïs. (voir le **tableau III.21**).

II.7.8-Dosage de la matière grasse (Les lipides)

L'objectif du dosage de la matière grasse parmi les résidus des légumes, des fruits et du maïs est d'évaluer la valeur nutritionnelle des résidus pour une alimentation équilibrée des animaux, de veiller à la conformité avec les normes de qualité et de sécurité alimentaire. Et aussi adapter la composition des rations selon les exigences énergétiques des animaux et ceci favorise une valorisation sûre et efficace des déchets végétaux dans l'alimentation des animaux. L'équation de dosage de lipide donnée comme suite:

$$MG\% = \left(\frac{pf - pi}{péch} \right) \times 100 \quad (\text{Eq.II.13})$$

II.7.8.1-Mode opératoire

II.7.8.1.1-Extraction et évaporation du solvant

Nous prenons deux ballons à vide sachant que B1 : 130,2192g, B2 : 131,8737 g, ensuite nous pesons la quantité des déchets m1 = 12,8283g et maïs m2 = 9,4904g. Nous mettons chaque échantillon à l'intérieur de la cartouche et nous le scellons avec du coton. Ensuite on place la carte dans le dispositif d'extraction Soxhlet. Puis le solvant organique (Hexane) est chauffé dans les granulés d'extraction. La vapeur de solvant s'intensifie et tombe sur la poudre du maïs et des déchets, où elle dissout la matière grasse. Nous notons que le solvant chargé de matière grasse s'accumule dans les plateaux d'extraction. Donc ce processus est répété plusieurs fois pour s'assurer que le plus de graisse possible soit extraite.

II.7.8.1.2-Extraction des matières grasses

La feuille d'extraction est chauffée pour éliminer le solvant organique, laissant la matière grasse pure. Puis nous mettons les ballons à l'intérieur des étuves pour sécher les traces d'eau. Après cette étape, nous laissons les ballons à l'extérieur de l'étuve dans le but de les refroidir. Finalement, on pèse les ballons et on calcule la matière grasse.

II.7.9-Dosage de glucides

L'objectif principal de calcul de la teneur en glucides dans notre travail est l'estimation l'énergie fournie par les aliments répondant aux besoins énergétiques des animaux,

l'optimisation de la digestibilité et l'utilisation des nutriments. Les glucides est donnée par l'équation suivante:

$$\text{Glucides}\% = \text{Ms}\% - (\text{Protéines}\% + \text{Lipides}\% + \text{Cendres}\% + \text{Humidité}\%)$$

(Eq.II.14)

Sachant que:

$$\text{Ms}\% = \text{Matière sèche}\% = \text{Mt}\% - (\text{Protéines}\% + \text{Lipides}\% + \text{Cendres}\%)$$

(Eq.II.15)

II.7.10-Taux de Cendres

La mesure de la teneur en cendres dans les résidus des légumes, des fruits et du maïs utilisés à la nutrition animale est principalement axée sur leur valorisation agroalimentaire et sur la sûreté alimentaire. L'analyse de la teneur en cendres a pour objectif d'évaluer la qualité nutritive et la sûreté des résidus végétaux destinés à l'alimentation des animaux.

L'équation des cendres est donnée par:

$$\text{cendres}\% = \left(\frac{Pt - Pv}{P_{ess}} \right) \times 100 \quad (\text{Eq.II.16})$$

II.7.10.1- Mode opératoire

Nous prenons deux bateaux de combustion en céramique et nous les laissons sécher dans l'étuve à 105°C. Puis nous les sortons et leur poids est vide B1 : 11,0259g et B2: 8,1560 g , puis nous ajoutons les déchets dans chaque bateau en céramique m1 : 0,3903g et m2 : 0,5101g. Nous mettons ces échantillons au four à moufle à 700°C pendant 24 heures , ensuite nous les sortons et les mettons dans le dispositif d'absorption d'humidité pour refroidir puis nous pesons chaque échantillon. Finalement, nous calculons le rapport des cendres le . On fait le même processus, mais les bateaux B1: 8,1560 g et B2: 11,0259 g et la masse de chaque échantillon est comme suite m1: 0,6536 g, m2: 0,416 g. (Voir le **tableau III.24**)

II.7.11-Mesure de pH

La mesure du pH pour les résidus des légumes, des fruits et du maïs utilisés à l'alimentation animale vise plusieurs objectifs. Contrôle de la valeur, de la conservation et l'amélioration des procédures de valorisation.

II.7.11.1-Mode Opératoire

Nous pesons 2,0182 g de déchets, puis nous mettons la quantité dans un bécher et versons de 20 ml d'eau distillée. Finalement nous immergeons la sonde du pH mètre dans la solution et lisons le résultat de pH . Et pour le maïs nous pesons 2,1383g de maïs, puis nous mettons la

quantité dans le bécher et versons 20 ml d'eau distillée. Finalement nous immergeons la sonde du pH mètre dans la solution et nous lisons le résultat de pH. (voir le **tableau III.25**).

II.7.12-Test de digestion

L'objectif principale de test de digestion pour les déchets des fruits et des légumes, et du maïs est l'évaluation de la digestibilité apparente et réelle pour l'estimation des fractions des compositions végétales comme les protéines végétales réellement absorbées par l'animal .Donc ce test permet d'optimiser les aliments des animaux et d'améliorer la valeur nutritionnelle. La digestibilité donnée par l'équation suivante:

$$\text{Digestibilité}\% = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (\text{Eq.II.17})$$

II.7.12.1-Mode opératoire

Premièrement nous pesons 1,0500 g de déchets et 1,0900g de maïs, puis nous mettons chaque échantillon dans un tube à essai et ajoutons 10 ml de HCl. Nous les mettons dans un incubateur à 37°C durant 24h. Après cette étape, les tubes contenant les échantillons sont mise en rotation dans une centrifugeuse pendant 15 minutes puis mise dans une étuve à 60°C durant quatre jours. Ensuite nous pesons les masses finales des tubes et nous calculons la digestibilité (voir le **tableau III.26**).

II.7.13-Analyse microbiologique

L'analyse microbiologique consiste a détecter, identifier et quantifier les micro-organismes présents dans des échantillons, notamment les produits végétaux, des denrées alimentaires, etc. Elle est importante pour garantir la sécurité sanitaire, la qualité des produits et la conformité aux normes réglementaires. Dans notre travail nous analysons l'existence de quelques germes comme suite:

II.7.13.1-Germes aérobies à 30°C

Ce comptage évaluer la charge microbienne totale qui peut se développer en présence d'oxygène à température ambiante 30°C. Il fournit une évaluation globale de la contamination microbienne et des conditions d'hygiène d'échantillon.

II.7.13.2-Coliforme fécaux

Ce type de bactéries indicatrices la présence des risques de contamination par des pathogènes intestinaux, contamination récente ou constante d'origine fécale humaine ou animale. La quantification des Coliformes fécaux repose généralement sur la filtration sur membrane, puis le milieu sélectif est incubé sur 44°C.

II.7.13.3- Staphylocoques à coagulase +

Ces bactéries, en particulier *Staphylococcus aureus*, servent d'indicateur de contamination humaine et ont la capacité de générer des toxines qui causent des intoxications alimentaires. Pour identifier ces bactéries, sont cultivées sur gélose Baird-Paker ou milieu équivalent, incubation à 37°C pendant 24-48h, puis la confirmation par test de coagulase.

II.7.13.4-Salmonella

Ce groupe de bactéries comprend des agents pathogènes responsables de salmonelloses, des infections couramment associés à la consommation d'aliments contaminés. L'identification de ces bactéries nuisibles permet de détecter leur présence pour éviter des menaces importantes pour la santé. La procédure en deux étapes, le enrichissement sélectif suivie l'isolement sur milieux sélectifs.

II.7.13.5-Levures et moisissures

Ces champignons servent d'indicateur de contamination fongique susceptibles de détériorer les aliments ou produits, entraînant des altérations et parfois la production de substances toxiques appelées mycotoxines. Leur quantification permet d'évaluer la quantité microbiologique ainsi que durée de conservation des produits. La culture s'effectue sur une gélose Sabouraud ou milieu équivalent, avec une incubation à une température de 25 °C pendant une période de 3 à 5 jours. Cette méthode permet de mesurer la présence de contamination fongique, qui peut compromettre la qualité de l'aliment.

II.7.13.6-Anaérobies sulfite-réducteurs

Ces bactéries anaérobies ont à la capacité de transformer les sulfites en sulfate d'hydrogène. Leur détection peut révéler une pollution d'origine fécale ou environnementale. Certaines espèces, comme *Clostridium perfringens*, sont pathogènes, mise en culture en milieu anaérobie spécifique à 37°C. Leur recherche est utilisée pour contrôler la qualité sanitaire, en particulier dans les analyses d'eau ou de produits alimentaires (aliment de bétail).

II.7.13.7-Escherichia coli

E.coli une bactérie spécifique parmi les Coliformes fécaux, est un indicateur privilégié d'une contamination fécale récente. Sa détection signale un risque sanitaire, car elle est souvent associée à la présence possible d'autres micro-organismes pathogènes d'origine intestinale. La culture s'effectue sur un isolement sur milieux sélectifs avec incubation à 44°C, la confirmation par tests biochimiques ou moléculaires.

II.7.13.8-Mode opératoire***II.7-13.8.1-Préparation des échantillons***

Premièrement on prélève les échantillons (déchets, maïs) dans des conditions stériles afin d'éviter la contamination, on pèse 25g de chaque matière, puis nous mettons chacun d'eux dans 100 ml de eau physiologique pour la dilution et obtenir des concentrations exploitables.

II.7-13.8.2-Dénombrement des germes aérobies

Premièrement on pèse 1 ml de chaque échantillon à l'aide d'une micropipete, puis on ensemence ces dilutions sur les boîtes pétri, nous ajoutons le milieu de culture PCA (Plat Count Agar) pour chaque boîte. Nous démenageons les boites sous forme numéro huit aux but l'homogénéisation, puis on incube à 30°C environ 3-5 jours puis on voire les colonies formé et on exprimée en germe par gramme ou ml d'échantillon.

II.7-13.8.3-Dénombrement des Coliformes fécaux

Premièrement on pesé 1 ml de chaque échantillon à l'aide d'une micropipette, nous posons ces dilutions sur les boîtes pétries, puis nous ajoutons le milieu sélectif VRBL (Violet Red Bile Lactose) pour chaque boîte. Nous démenageons les boites sous forme numéro huit aux but l'homogénéisation, puis on incube à 44°C environ 24 heures, on voire les colonies formées et on exprimée en germe par gramme ou ml d'échantillon.

II.7-13.8.4-Dénombrement des staphylocoques à caogulase positive

Premièrement nous ajoutons le milieu sélectif Chapman dans chaque boîte pétri. Après qu'il gèle, nous ajoutons une goutte de chaque échantillon aux boîtes et distribuons la goutte sur la surface du milieu de culture, puis on incube à 37°C pendant 24 à 48h. Les colonies caractéristiques sont grises/noires avec halo opaque de fibrine.

II.7.13.8.5-Recherche et isolement de salmonella

Premièrement on pèse 1 ml de chaque échantillon à l'aide d'une micropipette, nous posons ces dilutions sur les boîtes pétries, puis nous ajoutons le milieu sélectif Baird-Parker pour chaque boîte. Nous démenageons les boites sous forme numéro huit aux but l'homogénéisation, puis on incube à 44°C environ 3 à 5 jours, on voire les colonies formées et on exprimée en germe par gramme ou ml d'échantillon.

II.7.13.8.6-Dénombrement de levures et moisissures

Premièrement on pèse 1 ml de chaque échantillon à l'aide d'une micropipette, puis on ensemence ces dilutions sur les boîtes pétri, nous ajoutons le milieu de culture Sabouraud

Dextrose Agar pour chaque boîte. Nous déménageons les boîtes sous forme numéro huit aux but l'homogénéisation, puis on incube à 25°C environ 3-5 jours puis on voit les colonies formées et on exprime en germe par gramme ou ml d'échantillon.

II.7.13.8.7-Dénombrement des sulfito-réducteurs

Premièrement on pèse 1 ml de solution diluée de chaque échantillon à l'aide d'une micropipette, nous posons ces dilutions sur les tubes à essai, puis nous laissons ces tubes à eau chaude durant 10 min puis dans l'eau froide. Après on ajoute deux gouttes de alun de fer dans chaque tube, ensuite nous ajoutons deux couches du milieu sélectif VF (Viande-foie) pour chaque boîte et les solutions obtenues. Nous déménageons les boîtes sous forme numéro huit aux but l'homogénéisation, puis on incube à 37°C environ 48 heures, finalement la détection par formation de noirceur dans le milieu.

II.7.13.8.8-Dénombrement d'E.coli

Premièrement on pèse 1 ml de chaque échantillon à l'aide d'une micropipette, nous posons ces dilutions sur les boîtes pétries, puis nous ajoutons le milieu sélectif VRBG (Violet Red Bile Glucose) pour chaque boîte. Nous déménageons les boîtes sous forme numéro huit aux but l'homogénéisation, puis on incube à 44°C environ 24 heures, on voit les colonies formées et on exprime en germe par gramme ou ml d'échantillon. Tous les analyses de microbiologie sont appliqués dans les conditions stériles et les résultats exprimés dans (tableau III.27, tableau III.28).

Conclusion

Ce chapitre présente les matériels et les méthodes expérimentales utilisés pour la valorisation des déchets de fruits et légumes destinés à l'alimentation animale. Le choix des matières premières, le procédé de séchage solaire et les différentes analyses physico-chimiques et microbiologiques ont permis d'assurer la qualité, la stabilité et la valeur nutritionnelle des produits obtenus. La méthodologie adoptée constitue ainsi une base fiable pour l'exploitation et l'interprétation des résultats expérimentaux.

CHAPITRE- III- RÉSULTATS ET DISCUSSION

Introduction

Ce chapitre présente et analyse les résultats expérimentaux obtenus lors de la valorisation des déchets de fruits et légumes destinés à l'alimentation animale. Il porte principalement sur l'étude du séchage solaire, l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques, nutritionnelles et microbiologiques des déchets séchés, ainsi que leur comparaison avec le maïs utilisé comme matière de référence. Les résultats obtenus permettent d'apprécier la qualité des matières premières et de justifier leur intégration dans la formulation d'aliments pour la croissance et l'engraissement des ruminants.

III.1-Les résultats du séchage

III.1.1-Mesure de la masse sèche

Les résultats obtenus après la mesure de masse sèche sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.01: Mesure de la masse sèche

Poids vide(g)	Masse initiale(g)	Masse finale(g)	Masse sèche(g)
28	100	41,5	18,75

III.1.2-Les paramètres nécessaires de cinétique de séchage

Ces paramètres représentés dans le tableau ci-dessous sont des paramètres essentiels dans la cinétique de séchage.

Tableau III.02: Les paramètres nécessaires dans la cinétique de séchage.

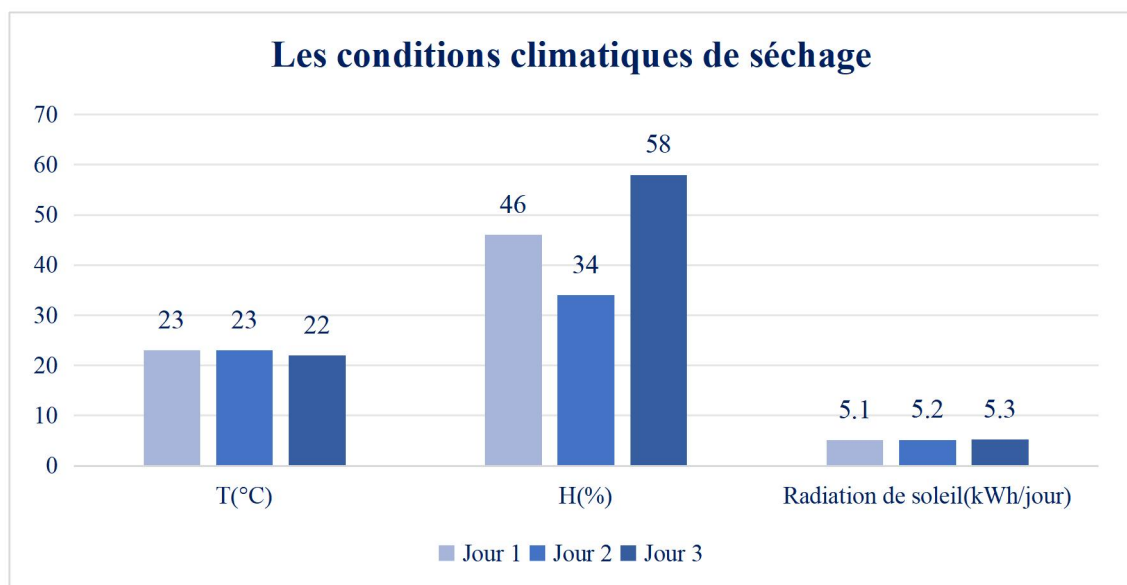
N° Essais	Pds vide(g)	P _t	M _o (g)	Ms (g)	Ms%
1	24	124	100	18,75	0,1875
2	19,5	119,5	100	18,75	0,1875
3	20,3	120,3	100	18,75	0,1875
4	23,6	123,6	100	18,75	0,1875
5	23,6	123,6	100	18,75	0,1875
6	19,5	119,5	100	18,75	0,1875

III.1.3-Les conditions climatiques

Les paramètres obtenus dans les trois jours de séchage 25, 26, 27 février 2025 exprimés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.03: Les conditions climatiques de trois jours de séchage.

Jour	Humidité(%)	Température(°C)	Radiation solaire (kWh/jour)
1	46	23	5,1
2	34	23	5,2
3	58	22	5,3
La moyenne	46	22,66	5,2

**Figure III.01:** Les conditions climatiques de séchage solaire.

L'histogramme de la figure III.01 correspond aux conditions climatiques de trois jours de séchage solaire. L'analyse des résultats est ci-dessous:

• *Température (°C)*

Les températures enregistrées durant les trois jours de séchage sont très proches (environ 22 à 23). Cette stabilité indique que la température ambiante est restée quasi constante, ce qui limite son impact différentiel sur le processus de séchage d'un jour à l'autre.

• *Humidité relative (%)*

L'humidité relative varie de façon notable entre 34%, 46%, 58%. Le deuxième jour présente l'humidité la plus basse, ce qui est généralement favorable au séchage, car l'air sec facilite l'évaporation de l'eau. Par contre, le troisième jour l'humidité la plus élevée, ce qui peut ralentir le séchage en réduisant la capacité de l'air à absorber l'humidité.

• *Radiation solaire (kWh/jour)*

La radiation solaire reste stable durant les trois jours entre 5,1 et 5,3 kWh/jour, cette constante indique que l'apport d'énergie solaire disponible pour le séchage est similaire pour chaque jour. Cela qui permet de comparer l'effet des autres paramètres de manière isolée.

Donc, l'analyse de ces résultats montre que, dans les conditions de température et de radiation constantes, c'est l'humidité relative de l'air qui joue le rôle déterminant dans l'efficacité du séchage solaire.

III.1.4-La cinétique de séchage

Les résultats de variation de la masse des déchets des fruits et légumes pendant le séchage chaque jour de séchage sont exprimés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau III.04: Les résultats de variation la masse des déchets pendant le premier jour de séchage solaire.

Essais/Temps(heures)	0	2	4	6	8
E1	100	73,5	50	37	32
E2	100	75,7	50,5	33,5	26,5
E3	100	77,7	55,7	42,7	36,7
E4	100	74,6	44,4	31,4	25,4
E5	100	74,9	50,4	37,4	29,4
E6	100	74,8	48,5	34,5	28,5

Tableau III.05: Les résultats de variation de la masse de quantité de matière pendant le deuxième jour de séchage solaire.

Essais/Temps(heures)	0	2	4	6	8
----------------------	---	---	---	---	---

E1	28	26	24	22	22
E2	21,5	21,5	19,5	19,5	19,5
E3	31,7	29,7	25,7	24,7	22,7
E4	22,4	21,4	20,4	18,4	17,4
E5	28,4	25,4	23,4	22,4	21,4
E6	23,5	21,5	20,5	16,5	15,5

TableauIII.06: Les résultats de quantité de matière pendant le troisième jour de séchage solaire.

Essais/Temps(heures)	0	2	4	6	8
E1	20	20	19	19	19
E2	16,5	16,5	16,5	15,5	15,5
E3	21,7	21,7	19,7	17,7	17,7
E4	17,4	17,4	17,4	16,4	16,4
E5	20,4	20,4	19,4	18,4	18,4
E6	14,5	14,5	14,5	13,5	13,5

TableauIII.07: Les résultats de variation de masse des échantillons durant le séchage solaire.

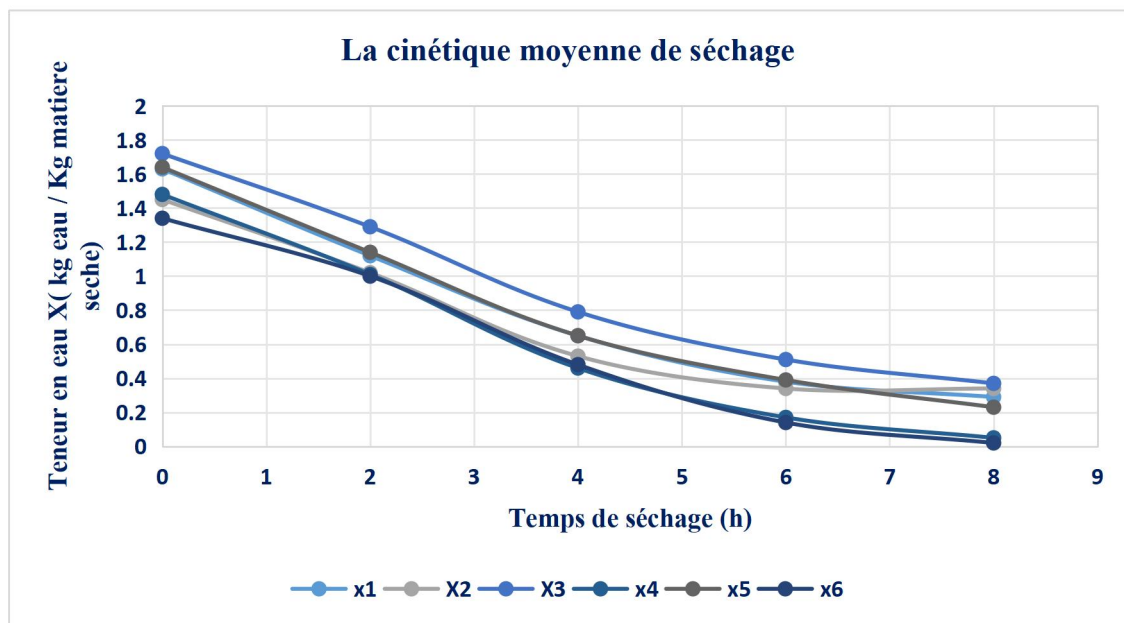
Essais/Temps(heures)	0	2	4	6	8
E1	49,33	39,83	31	26	24,33
E2	46	37,9	28,83	25,16	25,16
E3	51,13	43,03	33,7	28,36	25,7
E4	46,6	37,73	27,4	22,06	19,73
E5	49,6	40,23	31,06	26,06	23,06
E6	46	36,93	27,83	21,5	19,16

Dans les tableaux précédents les suivis des masses des séchages, on observe la diminution de la quantité de la matière chaque jour à cause de l'élimination de la quantité d'eau contenue dans les déchets des fruits et des légumes durant le séchage solaire. La stabilisation des valeurs dans le dernier jour de séchage est due à l'évaporation presque totale de l'eau libre en surface. Il ne reste que de l'eau liée à l'intérieur du la matière utilisée qui migre lentement vers la surface. Donc on a un équilibre qui s'établit entre l'humidité du produit et celle d'air ambiant.

Tableau III.08: Evaluation de la teneur en eau en fonction de temps de séchage.

Teneur en eau/ Temps(h)	0	2	4	6	8
X ₁	1,63	1,12	0,65	0,38	0,29
X ₂	1,45	1,02	0,53	0,34	0,34
X ₃	1,72	1,29	0,79	0,51	0,37
X ₄	1,48	1,01	0,46	0,17	0,05
X ₅	1,64	1,14	0,65	0,39	0,23
X ₆	1	1	0,48	0,14	0,02

D'après les résultats représenté dans le **tableau III.08** on trace la courbe de cinétique de séchage $X_m=f(t)$ correspondant à la teneur en eau moyenne (kg d'eau /kg masse séché) en fonction de temps.

**Figure III.02:** La cinétique de séchage moyenne.

La **figure III.02** montre l'évolution de teneur en eau des déchets des fruits et des légumes en fonction de temps de séchage. Les courbes X1 à X6 représentent différents échantillons ou conditions de séchage. Pour tous les échantillons, la teneur en eau est élevée diminue régulièrement au cours du temps de séchage. Au départ, la teneur en eau est élevée, puis elle chute rapidement durant les premières heures. On observe une première phase (0 à 4 heures) où la perte d'eau est rapide. Correspondant à l'évaporation de l'eau libre. Ensuite, la courbe s'aplatit (après 4 heures), indiquant que l'eau restante est plus difficile à extraire, car elle est

liée à la structure interne de la matière utilisée. Donc, ce séchage est très important pour optimiser la réduction d'humidité, est efficace pour la favorisation de la conservation, limite la dégradation et permet de valoriser ces déchets pour l'alimentation animale.

III.2-Les résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques

III.2.1-Taux d'humidité

Les résultats d'analyses du taux d'humidité de chaque matière première sont exprimés dans Le tableau ci-dessous:

Tableau III.09: Mesure de taux d'humidité.

Matière	Masse humide(g)	Masse sèche(g)	Taux d'humidité(%)
Déchets	36,04	35,68	1
Maïs	33,64	33,07	1,73

Les résultats d'humidité de 1 % pour les déchets de 1,73 % pour le maïs, correspondent les teneurs en humidité exprimées en pourcentage massique. Ces résultats très proches et faibles sont favorables pour éviter la prolifération microbienne ou la dégradation rapide. Ils sont positifs pour le stockage de ces matières.

III.2.2-Mesure de la couleur

Les résultats de mesure de la couleur des déchets des fruits et des légumes en purée avant le séchage sont exprimés dans le **tableau III.10** suivant:

Sachant que Les indices L^* , a^* et b^* décrivent la couleur d'un échantillon selon sa luminosité (L^*), sa tendance au rouge ou au vert (a^*) et sa tendance au jaune ou au bleu (b^*), tandis que c^* indique l'intensité de la couleur et h son type (teinte) exprimé en angle.

Tableau III.10: Les résultats de coloration d'échantillons des déchets avant le séchage (en purée).

N° Essais	L	a*	b*	c*	h
1	24,35	26,78	2,53	26,9	5,40
2	26,05	26,36	5,94	26,36	5,94
3	26,98	28,03	3,76	28,28	7,64
ΔE_{12}			13,5045		
ΔE_{23}			1,5389		

Les valeurs de ΔE correspondent à des différences de couleur mesurées sur les déchets des fruits et des légumes avant le séchage. ΔE est un indicateur quantitatif de la différence perçue entre les interactions 12 et 23 de la valeur de la coloration, calculée à partir des coordonnées colorimétriques (L^* , a^* , b^*). La valeur 13,5045 traduit une variation importante de la couleur potentiellement liée à des altérations enzymatiques ou à un début de la dégradation des déchets, tandis que la valeur plus faible 1,5389 indique une différence de couleur faible, c'est-à-dire une meilleure homogénéité ou une fraîcheur avant le séchage.

D'après le tableau III.10 on trace l'histogramme de mesure de couleur des déchets avant le séchage (voir la **figure III.03** ci-dessous).

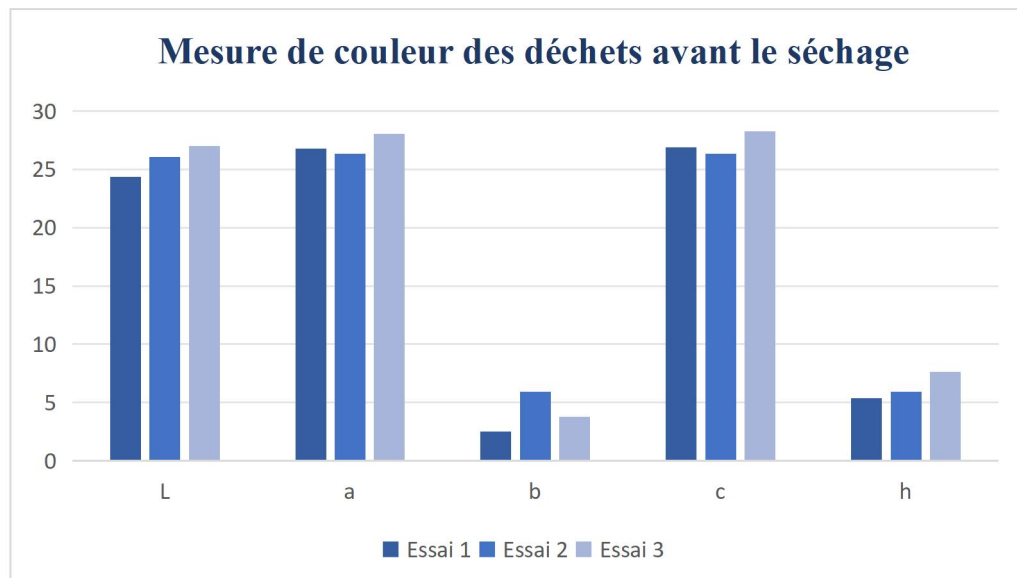


Figure III.03: les indices de couleur des déchets avant le séchage.

Les valeurs de L^* sont proches entre les trois essais, variant légèrement autour de 24-26. Cela indique que la luminosité des déchets est assez constante avant le séchage, avec une légère

augmentation du premier au troisième essai. Les indices a^* , Les valeurs de a sont également stable et élevées environ 26-28, ce qui montre une dominance de la composante rouge dans la couleur des déchets. Les variations entre les essais sont minimales. Tandis que b^* , Les valeurs de b sont faibles autour de 2-5, ce qui indique une faible composante jaune dans la couleur des déchets. Il y a une légère augmentation du premier au troisième essai, mais la variation reste faible.

L'indice c^* (Chroma/Saturation), Les valeurs de c sont similaires à celles de L^* et a^* , elles indiquent une saturation de couleur assez élevée et stable, avec une légère augmentation dans le troisième essai.

Les valeurs de h sont faibles d'une hauteur de 5-7, ce qui suggère une teinte peu marquée, mais on observe une légère augmentation du premier au troisième essai.

Donc, les déchets analysés présentent une couleur stable, dominée par des tons rouges, une luminosité et une saturation modérée, et une teinte peu marquée. Les variations entre essais sont faibles.

Les résultats de mesure de la couleur des déchets des fruits et des légumes en poudre après le séchage sont exprimés dans le **tableau III.11** ci-dessous:

Tableau III.11: Les résultats de coloration d'échantillons des déchets après le séchage (en poudre).

N° Essais	L	a	b	C	h
1	10,26	7,53	4,24	8,64	29,38
2	36,77	19,90	11,43	22,95	29,86
3	34,70	21,31	10,74	23,87	26,76
ΔE_{12}			30,12		
ΔE_{23}			2,598		

La valeur de couleur 30,12 est très élevée probablement dû à un brunissement enzymatique ou non enzymatique intense, ou à une dégradation des pigments. La valeur 2,598 est faible correspondant à un changement minimal de couleur avec une conservation relative de pigments et une inhibition partielle du brunissement enzymatique. Donc, on peut dire que la valeur élevée de ΔE liée à des réactions chimiques et enzymatiques pendant le séchage. Pour ΔE faible, elle indique une meilleure conservation de couleur après le séchage.

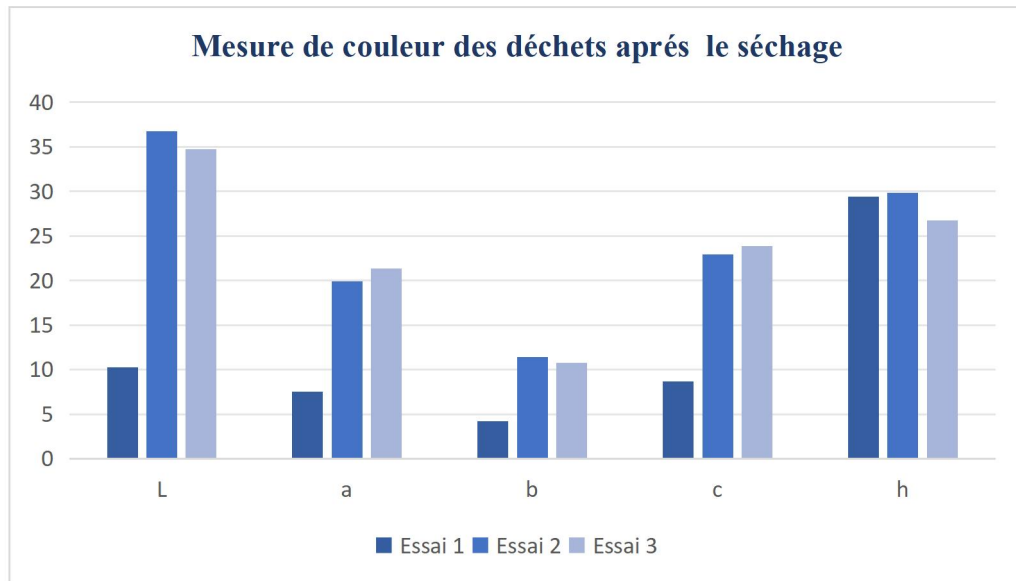


Figure III.04 : Évaluation des indices de couleur des déchets après le séchage

La figure III.04 correspond à des paramètres nécessaires pour le calcul de coloration.

Les valeurs de L^* sont différentes. La valeur d'essai 1 faible est d'environ 11, indiquant que les déchets sont très foncés. Les valeurs d'essais 2 et 3 sont plus élevées, entre 34-36. Cela indique une différence d'homogénéité entre les zones de chaque essai.

Les valeurs de a^* sont différentes. La valeur d'essai 1 est faible d'environ 7, par contre les valeurs de essais 2 et 3 sont plus élevées et sont entre 19-21. Donc, les essais 2 et 3 présentent une coloration plus marquée vers le rouge, traduisant une meilleure dégradation de certains composés organiques ou à une transformation chimique.

Les valeurs de b^* sont différentes, la valeur d'essai 1 est faible d'environ 4, les valeurs des essais 2 et 3 sont moyennes entre 11-12. Ces valeurs indiquent une meilleure modification chimique des déchets durant le séchage.

Les valeurs de saturation sont différentes C^* , la valeur d'essai 1 faible est de 8, par contre les valeurs des essais 2 et 3 sont élevées et sont entre 22-23, les couleurs sont plus vives et franches. Pour les essais 2 et 3, ils indiquent un aspect visuel plus net et potentiellement plus attractif ou conforme à un standard. Les valeurs de h sont plus élevées entre 26-29, la couleur dominante reste la même, malgré des différences notables de clarté et de saturation.

Donc, ces valeurs obtenues montrent que le séchage a un impact, avec des différences notables entre les essais. Cela suggère une meilleure efficacité du procédé ou une composition initiale plus favorable. Ces résultats peuvent orienter les choix techniques pour améliorer la qualité des déchets après traitement.

Les résultats de mesure de la couleur du maïs en poudre après le séchage sont exprimés dans le **tableau III.12** ci-dessous:

Tableau III.12: Les résultats de la coloration d'échantillons du maïs en poudre.

N° Essais	L	a*	b*	c*	h
1	75,83	4,01	24,49	24,82	80,70
2	76,01	4,16	22,57	22,95	79,54
3	70,77	4,60	23,44	23,89	78,90
ΔE_{12}			13,7889		
ΔE_{23}			6,1905		

La valeur de ΔE 13,7889 traduit un changement de couleur plus marqué, indiquant un impact plus fort du séchage sur la qualité visuelle du maïs. Par contre la valeur de 6,1905 correspondant à un changement de couleur modérée, suggère un séchage maîtrisé avec une bonne conservation.

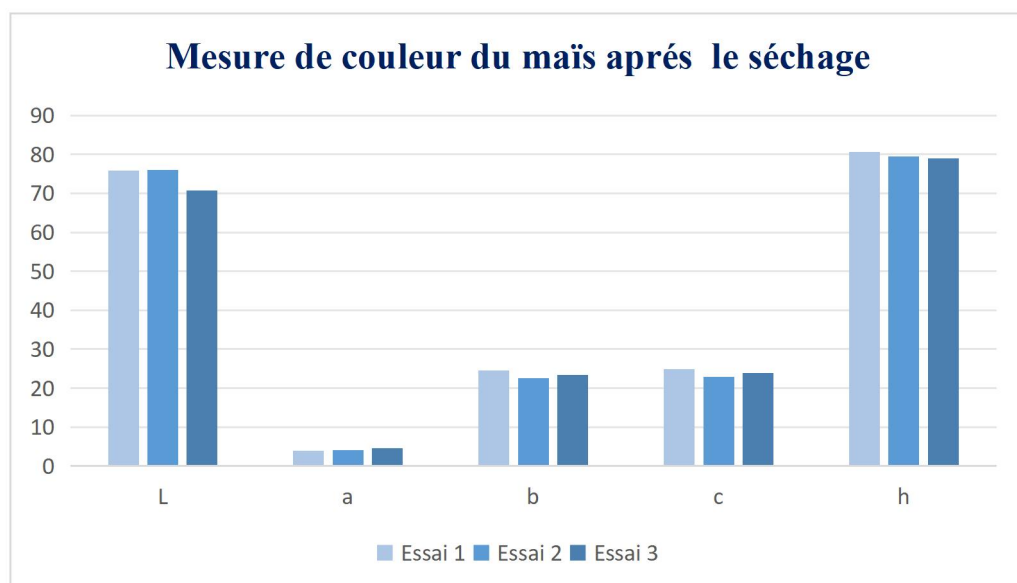


Figure III.05: évaluation de couleur du maïs après le séchage.

La figure III.05 correspond à des paramètres nécessaires pour le calcul de la coloration. Les valeurs de L^* sont élevées entre 70-76 pour les trois essais. Elles indiquent que le maïs reste relativement clair après le séchage, avec une très légère diminution, ce qui pourrait traduire un assombrissement marginal du grain. Les valeurs a^* sont très faibles autour de 4-5, ce qui montre une très légère tendance vers le

rouge. Ils y ont une différence notable entre les essais.

Les valeurs de b^* sont modérées et sont d'environ 22-24, elles indiquent une dominance du jaune, caractéristique de maïs. Les valeurs restent stables entre les essais, montrent que la composante jaune est peu affectée par le séchage.

Les valeurs de c sont proches de celles de b et sont d'environ 22-24, ce qui indique une saturation de couleur est stable et élevée. Donc, c'est la couleur vive du maïs après le séchage. Ils y a peu de variation entre les essais.

Les valeurs de h sont élevées, montrant que la teinte dominante reste constante et élevée, ce qui correspond à la couleur jaune typique du maïs. Ils y a aucune variation notable entre les essais.

-Donc, le séchage de maïs dans les conditions testées, n'affecte pratiquement pas la couleur. Cela est un indicateur positif pour la qualité visuelle de produit fini, qui reste attrayant et conforme aux attentes du marché.

III.2.3-Résultats de dosage des Polyphénols Totaux

III.2.3.1-La courbe d'étalonnage

D'après la préparation des concentrations connues d'acide gallique, on mesure l'absorbance de chaque concentration dans le Uv-visible, les résultats exprimées dans le tableau III.13 ci-dessous:

Tableau III.13: Les concentrations d'acide gallique et ses absorbances.

Concentration en acide gallique (mg/ml)	Absorbance
0	0
0,1	0,09
0,2	0,23
0,3	0,441
0,4	0,616
0,5	0,616
1	1,728

D'après le tableau III.13 on trace la courbe de dosage des Polyphénols Totaux (mgEGA/g) pour réduire nos résultats.

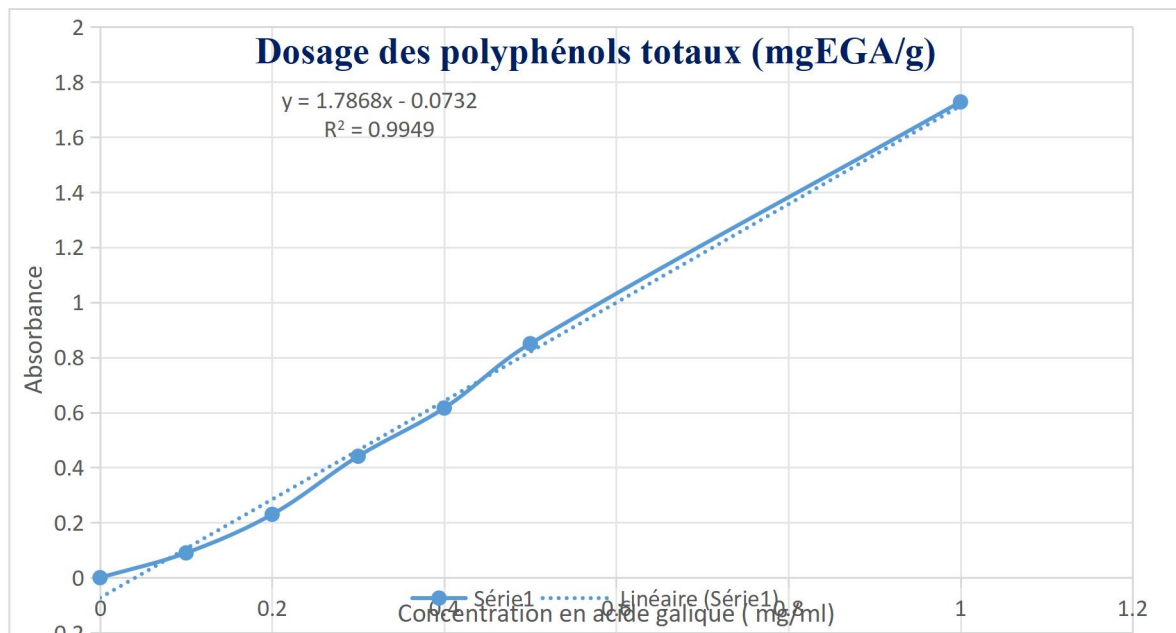


Figure III.06: Courbe de dosage des Polyphénols Totaux.

La courbe de dosage des Polyphénols Totaux correspond à la variation d'absorbance en fonction de la concentration en acide gallique. On observe une augmentation dans la courbe l'absorbance augmentant avec la concentration. Donc on a une relation directe entre la concentration d'acide gallique et l'absorbance dans Uv-visible.

D'après la courbe de figure III.06 on réduit les dosages de Polyphénols Totaux des déchets et du maïs sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.14: Dosage de Polyphénols Totaux pour les déchets et pour le maïs.

Matière	Masse (g)	Absorbance	Polyphénols Totaux (mgEGA/g)
Témoin	/	0	0
Déchets	1,2178	0,196	45,16
Maïs	1,0092	0,180	53,61

La teneur en Polyphénols Totaux de 45,16 mgEAG/g pour les déchets des fruits et des légumes est relativement élevée, ce qui reflète une bonne richesse en composés phénoliques, connus par leurs propriétés antioxydants. La valeur de 53,6146 mgEAG/g pour le maïs est encore plus élevée, indiquant que le maïs contient une concentration importante de polyphénols. Donc, ces résultats indiquent que nos matières premières sont des sources valables de polyphénols totaux pouvant être valorisées par leurs effets bénéfiques en alimentation animale ou en agroalimentaire.

III.2.4-Dosage des fibres au Détergent Neutre (NDF) -Milieu Basique

Les résultats d’analyses de Dosage des fibres au Détergent Neutre (NDF) -Milieu Basique de chaque matière première sont exprimés dans le tableau ci-dessus:

Tableau III.15: Dosage des fibres au Détergent Neutre (NDF) -Milieu Basique.

Matière	Masse initiale (g)	Masse finale (g)	NDF %
Déchets	2,0253	0,8744	43,1738
Maïs	2,0106	1,3653	67,9051

Pour les déchets avec un NDF de 43,1738% signifie une teneur modérée en fibres. Ces déchets contiennent une quantité significative de fibres restant relativement digestibles. Ce qui fait une ressource intéressante pour l’alimentation animale. Par contre la valeur de 67,9051% est élevée, le maïs contient une forte proportion en fibres, ce qui peut limiter la quantité ingérée par les animaux car les fibres sont moins digestibles et peuvent provoquer une sensation de satiété plus rapide. Donc, le NDF pour les déchets est dans une fourchette acceptable, le NDF pour le maïs est relativement élevée et indique un fourrage plus fibreux, moins digestible.

III.2.5-Dosage des fibres au Détergent Acide (ADF) -Milieu Acide

Les résultats de l’analyse du ratio des fibres pour chaque matière première sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.16: Dosage des fibres au Détergent Neutre (ADF) -Milieu Acide.

Matière	Masse initiale (g)	Masse finale (g)	ADF%
Déchets	1,040	0,2751	24,69
Maïs	1,0578	0,4018	37,98

La valeur de ADF 24,69% pour les déchets est relativement basse, ce qui signifie que ces déchets contiennent une part modérée de fibres peu digestibles’ est une meilleure digestibilité potentielle pour les animaux ou pour la valorisation. Par contre la valeur de 37,98% est plus élevée, ce qui correspond à une teneur plus importante en fibres indigestibles. Cela est cohérent avec la nature du maïs, qui contient plus de parois cellulaires résistantes. Donc les déchets des fruits et des légumes ont une meilleure digestibilité plus potentielle que le maïs, ce qui est important pour la valorisation en alimentation animale.

III.2.6-Activité de l'eau

L'évaluation de l'activité de l'eau durant le séchage sont regroupe dans le tableau suivant :

Tableau III.17: Activité de l'eau des échantillons de déchets en purée pendant le séchage.

t (min)	Lecteur 1	Lecteur 2	Lecteur 3
0	0,862	0,766	0,740
2	0,863	0,765	0,742
4	0,864	0,770	0,741
Moyenne	0,863	0,767	0,741

Tableau III.18: Les résultats d'activité d'eau d'un échantillon de déchets en poudre après le séchage.

t (min)	Lecteur 1	Lecteur 2	Lecteur 3
0	0,315	0,316	0,316
2	0,315	0,316	0,317
4	0,316	0,316	0,317
Moyenne	0,315	0,316	0,316

Les valeurs d'activité de l'eau des déchets avant le séchage sont 0,863 ; 0,767; 0,741. Ces valeurs indiquent une forte disponibilité de l'eau libre, ce qui favorise la croissance de nombreux micro-organismes qui peut entraîner une décomposition rapide s'ils ne sont pas traités. Par contre, les valeurs d'activité de l'eau des déchets après le séchage sont d'environ à environ 0,315 et 0,316. Ces niveaux sont très bas, bien en dessous du seuil minimal pour la croissance microbienne. Donc, l'activité de l'eau élevée avant le séchage indique un milieu propice à la dégradation microbienne, tandis que sa baisse importante après le séchage montre une meilleure stabilité microbiologique des déchets. Cette mesure est essentielle pour évaluer la conservation et la transformation des déchets.

Tableau III.19: Activité de l'eau d'un échantillon du maïs avant le séchage.

t (min)	Lecteur 1	Lecteur 2	Lecteur 3
0	0,900	0,901	0,900
2	0,899	0,900	0,899
4	0,898	0,899	0,898
Moyenne	0,899	0,900	0,899

Tableau III.20: Activité de l'eau d'un échantillon du maïs en poudre après le séchage

t (min)	Lecteur 1	Lecteur 2	Lecteur 3
0	0,543	0,544	0,545
2	0,543	0,544	0,545
4	0,543	0,544	0,545
Moyenne	0,543	0,544	0,545

Les valeurs de l'activité de l'eau du maïs de 0,899;0,900 avant le séchage, sont des valeurs très élevées. Elles indiquent que le maïs est très humide aussi est un milieu très susceptible au développement rapide des micro-organismes, dans cet état n'est pas stable pour un stockage prolongé. Par contre, les valeurs de l'activité d'eau du maïs après le séchage sont d'environ 0,543 et 0,545. Ces valeurs montrent que le séchage a efficacement réduit l'eau libre dans le maïs. La valeur 0,5 généralement est considérée comme limite pour la croissance, mais certaines moisissures xérophiles adaptées aux milieux secs peuvent encore se développer à ce niveau. Le stockage dans de bonnes conditions reste essentiel. Donc, le séchage qui a permis de passer d'un état très périssable à un état plus stable, garantit une bonne conservation du maïs. Il est important de maintenir des conditions de stockage adéquates.

III.2.7-Dosage des Protéines

Les résultats d'analyses du taux de protéines de chaque matière première sont exprimés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.21: Taux de Protéines.

Matière	Poids d'échantillon(g)	V1(ml)	Nitrogène%	Protéines%
Déchets	2,0225	11	1,9035	11,897
Maïs	2,2270	7	1,1001	6,875

La teneur en protéines de 11,89% pour les déchets des fruits et des légumes indique une proportion relativement élevée de protéines. Cela suggère que ces déchets pourraient

constituer une source intéressante de protéines végétales, notamment pour les usages alimentaires ou comme matière première pour la valorisation nutritionnelle. Par contre, la valeur de 6,87% pour le maïs est une teneur plus modérée. Elle est typique aux céréales avec une qualité protéique correcte mais inférieure à celle des protéines animales ou de légumineuses. Alors, ces teneurs confirment le potentiel des déchets pour une valorisation durable notamment l'alimentation animale. Le maïs reste une source protéique classique et complémentaire.

III.2.8-Dosage de matières grasses (Les lipides)

Les résultats de l'analyse du pourcentage de matières grasses pour chaque matière première sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.22: Dosage de matière grasse.

Matière	Poids d'échantillon(g)	Poids initial(g)	Poids final(g)	MG%
Déchets	12,8283	130,2192	130,3820	1,27
Maïs	9,4904	131,8737	132,0413	1,76

La teneur en lipides 1,27% pour les déchets des fruits et des légumes est faible, ce qui est cohérent avec leur nature généralement pauvre en graisses. En revanche, la teneur en lipides est de 1,76% pour le maïs est également faible mais typique pour cette céréale. Donc, ces valeurs indiquent que ni les déchets ni le maïs ne sont pas des sources majeurs de lipides, mais le maïs en apporte un peu plus, ce qui peut contribuer à la valeur énergétique globale de cet aliment.

III.2.9-Dosage des glucides

Les résultats d'analyses du taux des glucides de chaque matière première sont exprimés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.23: Dosage des glucides.

Matière	Glucides %
Déchets	80,343
Maïs	86,815

Les résultats indiquent un taux élevé en glucides, sachant que la valeur 80.34% pour les déchets des fruits et des légumes, 86.815% pour le maïs. Cette proportion forte de glucides signifie que ces matières premières sont riches en énergie, principalement sous forme

d'amidon et de sucres. Les glucides complexes comme l'amidon présent dans le maïs, sont digérés lentement et fournissent une énergie durable, par contre les glucides simples plus présents dans les fruits et légumes sont digérés plus rapidement. Donc, ces matières utilisées riches en glucides peuvent être valorisées comme source énergétique pour l'alimentation animale.

III.2.10-Taux des Cendres

Les résultats d'analyses du taux des Cendres de chaque matière première sont exprimés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.24: Taux des Cendres.

Matière	Price d'essai(g)	Poids vide(g)	Poids total(g)	Cendres%	Moyenne
Déchets	0,3903	11,0259	11,0452	4,94%	5,49 %
	0,5101	8,1560	8,1869	6,05 %	
Maïs	0,6536	8,1560	8,1761	3,07 %	2,82 %
	0,416	11,0259	11,0366	2,57 %	

Pour les déchets des fruits et des légumes, un taux de cendres de 5,49% est relativement élevé, ce qui reflète une teneur importante en minéraux. Cela est cohérent avec la nature des déchets organiques riches en fibres, en minéraux et autres composants inorganiques. Par contre le taux de cendres de 2,82% est plus faible, ce qui correspond à la composition typique des céréales qui contiennent généralement entre 1 et 1,5% de cendres sur la matière sèche. Ici le taux de 2,82% peut indiquer une certaine concentration minérale plus élevée. Ces résultats montrent que les déchets des fruits et des légumes ont une teneur en cendres plus élevée que le maïs, ce qui est logique compte tenu de leur composition différente. Ces taux de cendres sont importants pour la valorisation et la qualité des déchets.

III.2.11-Mesure du pH

Les résultats de l'analyse de mesure du pH pour chaque matière première sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.25: La mesure du pH.

Matière	Masse (g)	Volume (ml)	Ph
Déchets	2,0182	20	4,25
Maïs	2,1383	20	4,66

Un pH de 4,25 pour les déchets des fruits et des légumes montre un milieu acide qui limite la croissance de la plupart des bactéries pathogènes, est une valeur typique pour de nombreux de fruits. Par contre la valeur de pH 4,66 pour le maïs est aussi acide. Cela peut favoriser la croissance de certaines bactéries, cette valeur est proche à la valeur critique 4,6. Ces valeurs de pH indiquent un milieu acide favorable à la conservation naturelle des déchets et du maïs. Cela nécessite un contrôle pour éviter le développement des micro-organismes indésirables.

III.2.12-Test de digestion

Les résultats de test de digestion de chaque matière première sont exprimés dans le tableau ci-dessous:

Tableau III.26: Le test de digestion.

Matière	Poids initial (g)	Poids vide (g)	Poids finale (g)	Digestibilité%
Déchets	1,0500	5,6509	5,4383	10,0374
Maïs	1,0900	5,6805	4,2304	37,5171

Un taux de digestibilité de 10,03% pour les déchets des fruits et des légumes est très faible. Ce qui explique leur forte teneur en fibres et en eau, cela qui limite leur dégradation digestive malgré leur richesse en nutriments. Ces déchets restent une ressource intéressante à valoriser en alimentation animale. Par contre la valeur du maïs de 37,51% est plus élevée, est plus facilement transformée en énergie par l'animal, ce qui fait un aliment plus performant pour la croissance et la production. Donc, ces valeurs montrent que le maïs est plus valorisable énergétiquement que les déchets pour une ration animale.

III.2.13-Analyse microbiologique

Les résultats d'analyse microbiologique des germes recherchés de chaque matière première sont exprimés dans les tableaux ci-dessous:

Tableau III.27: Analyse microbiologique pour les déchets.

N°	Germes recherchés	Résultats	Références	Limites microbiologiques
1	<i>Germes aérobies à 30°C</i>	Absence	J.ON° 65 /2019	$< 10^5$
2	<i>Coliforme fécaux</i>	Absence	J.O N° 64 /2017	$<10^2$
3	<i>Staphylocoques à coagulase +</i>	Absence	J.O N° 68/2014	Absence
4	<i>Salmonella</i>	Absence	J.O N° 44 /2017	Absence dans 25 g
5	<i>Levures et moisissures</i>	Présence	J.O N° 52 /	Absence
6	<i>Anaérobies sulfito-réducteurs</i>	Absence	J.O N° 52 /	Absence
7	<i>E.Coli</i>	Absence	J.O N° 64/	Absence

Tableau III.28: Analyse microbiologique pour le maïs.

N°	Germes recherchés	Résultats	Références	Limites microbiologiques
1	<i>Germes aérobies à 30°C</i>	$>10^3$	JORA 65/2019	$<10^5$
2	<i>Coliforme fécaux</i>	32	Jora 64/2017	$<10^2$
3	<i>Staphylocoques à coagulase +</i>	Absence	J.O N° 68/2014	Absence
4	<i>Salmonella</i>	Absence	J.O N° 44/2017	Absence dans 25g
5	<i>Levures et moisissures</i>	Présence	J.O N° 52/2015	Absence
6	<i>Anaérobies sulfito-réducteurs</i>	Absence	J.O N° 52/2013	Absence
7	<i>E.Coli</i>	Absence	J.O N° 64/2017	Absence

Les résultats des analyses microbiologiques des produits séchés montrent que l'échantillon est globalement conforme aux normes réglementaires. La teneur en Coliformes fécaux est de 32 UFC/g, ce qui reste inférieur à la limite maximale autorisée de 100 UFC/g, et indique une maîtrise acceptable de l'hygiène. De plus, les analyses révèlent l'absence de germes pathogènes tels que les staphylocoques à coagulase positive, la Salmonella, les anaérobies sulfito-réducteurs et E. coli, ce qui confirme la sécurité sanitaire du produit sur ces points. Toutefois, la présence de levures et moisissures, normalement interdite selon les critères réglementaires, constitue une non-conformité. Cette contamination fongique peut être liée à des conditions de stockage inadaptées ou à une insuffisance d'hygiène dans l'environnement de production. Il est donc recommandé de renforcer les mesures d'hygiène et les contrôles environnementaux afin d'éliminer cette source de non-conformité et de garantir une qualité microbiologique optimale du produit.

III.2.14-Comparaison des différentes matières premières

Le tableau ci-dessous exprime la composition de deux matrices :

Tableau III.29: Composition de deux matrices.

Paramètres	Déchets fruits et légumes	Maïs séché
pH	4,25	4.66
Activité d'eau	0,316	0,544
Taux d'humidité %	1	1,73
Protéines%	11,897	6,875
Glucides %	80,343	86,815
ADF%	24,69	37,98
NDF%	43,1738	67,9051
Polyphénols totaux (mgEAG/g)	45,16	53,61
Matière grasse%	1,27	1,76
Cendre	5,49 %	2,82 %
Taux de digestion	10,0374	37,5171

III.3-formulation de produits finale issue des fractions de déchets et maïs

III.3.1-Besoin nutritionnelle pour la croissance

Les ruminants, tels que les bovins, ovins et caprins, ont des besoins nutritionnels spécifiques qui varient selon leur stade physiologique ; ainsi, durant la croissance, leur alimentation doit être riche en protéines digestibles (environ 90 à 120 g/kg de matière sèche) pour favoriser le développement musculaire et osseux, tout en assurant un apport énergétique modéré (autour de 0,8 à 1 UFL/kg MS) et un taux suffisant de fibres pour maintenir une bonne santé du rumen ; en revanche, en phase d'engraissement, les besoins en énergie augmentent considérablement (jusqu'à 1,2 UFL/kg MS) afin de favoriser la prise de poids et le dépôt de gras, tandis que les besoins en protéines sont légèrement réduits (80 à 100 g/kg MS), et l'alimentation est généralement constituée de concentrés énergétiques (grains de maïs, orge), complétés par une quantité modérée de fourrages grossiers, des minéraux essentiels (calcium, phosphore, sodium...) et des vitamines (notamment A, D et E), avec une attention particulière portée à l'équilibre de la ration pour éviter les troubles digestifs comme l'acidose.

Les aliments séchés dans ce présent travail peuvent répondre à ces exigences, d'après les résultats obtenus d'analyses physico-chimiques, les fractions de déchets de légumes et fruit ainsi que la fraction de maïs sera représentée dans le tableau suivant :

Les fractions nécessaires pour avoir une alimentation équilibrée selon les besoins en nutriment sont les suivantes : 40 % de maïs sèche + 60 % de déchets des fruits et légumes [41]- [44].

Tableau III.30: Composition nutritionnelle pour la croissance.

Paramètres	Aliment pour croissance (40% maïs /60 % déchets)
pH	4,43
Activité d'eau	0,396
Taux d'humidité%	1,34 %
Protéines%	10,29 %
Glucides %	82,73 %
ADF%	29,61 %
NDF%	53,27 %
Polyphénols totaux (mgEAG/g)	48,34 mg/g
Matière grasse%	1,49 %
Cendre	4,62 %
Taux de digestion	20,83 %

III.3.2-Besoin nutritionnelle pour l'engraissement

L'engraissement des ruminants, notamment des bovins, vise une prise de poids rapide associée à un bon développement musculaire et au dépôt de graisse, notamment pour la finition. À ce stade, les besoins nutritionnels sont fortement orientés vers un apport énergétique élevé, pouvant atteindre 1,1 à 1,2 UFL/kg de matière sèche, pour soutenir la croissance pondérale et la conversion efficace de l'aliment en tissu adipeux. Les protéines digestibles (PDI) doivent être maintenues à un niveau modéré, autour de 80 à 100 g/kg MS, en fonction de l'âge et de l'état d'engraissement de l'animal. L'alimentation est généralement riche en amidon, issu de céréales (maïs, orge), afin de favoriser l'engraissement, mais cet apport doit être maîtrisé pour prévenir l'acidose ruminale. Il est également essentiel de maintenir un minimum de 15 à 17 % de fibres (NDF) pour protéger le fonctionnement du

rumen. Les lipides, quant à eux, ne doivent pas dépasser 6 à 7 % de la ration totale, afin d'éviter toute inhibition de la flore microbienne ruminale. À titre d'exemple, une ration typique pour un bovin de 450 kg en phase d'engraissement comprend 60 à 70 % de concentrés énergétiques (maïs, orge, son), 20 à 30 % de fourrages grossiers (ensilage, paille), ainsi qu'un complément protéique et minéral pour couvrir les besoins spécifiques en acides aminés, vitamines et minéraux.

Les fractions nécessaires pour avoir une alimentation équilibrée selon les besoins en nutriment pour l'engraissement sont les suivantes : 70 % de maïs sèche + 30 % de déchets des fruits et légumes [41]-[47].

Tableau III.31: Composition nutritionnelle pour l'engraissement.

Paramètres	Aliment pour l'engraissement (70% maïs /30 % déchets)
pH	4.53
Activité d'eau	0.47
Taux d'humidité%	1.52
Protéines%	8,34
Glucides %	84,87
ADF%	33,79
NDF%	60,11
Polyphénols totaux (mgEAG/g)	50.96
Matière grasse%	1,61
Cendre	3,63
Taux de digestion	29,03

Conclusion

Les résultats obtenus montrent que le séchage solaire assure une réduction efficace de l'humidité et de l'activité de l'eau, garantissant la stabilité et la sécurité sanitaire des déchets de fruits et légumes. Les analyses physico-chimiques et nutritionnelles révèlent une composition compatible avec les besoins des ruminants et complémentaire à celle du maïs. La formulation des rations confirme ainsi le potentiel des déchets agroalimentaires comme ingrédients alternatifs durables, économiques et adaptés à l'alimentation animale.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

À la fin de cette partie du travail, l'étude systématique discutée dans les Chapitres un et deux a formé la base scientifique et pratique nécessaire pour atteindre l'objectif souhaité de valoriser les déchets alimentaires agricoles et de les convertir en valeur ajoutée dans le secteur de la nutrition animale.

La revue a souligné l'importance vitale de l'exploitation des déchets de fruits, légumes et maïs, non seulement pour réduire l'impact environnemental et économique des déchets, mais aussi pour fournir des sources d'alimentation alternatives et durables riches en nutriments. Les fondements méthodologiques des processus de séchage et comment ils affectent la qualité nutritionnelle des matières premières ont également été identifiés. En pratique, le chapitre 2 a permis d'appliquer des protocoles stricts pour la sélection et le traitement des matières premières et les analyses physico-chimiques nécessaires (par exemple, teneur en eau, activité de l'eau, protéines, lipides, glucides). Ces analyses minutieuses, en plus de caractériser les propriétés du maïs, ont permis de déterminer la valeur nutritionnelle des produits séchés. Sur la base de ces données, en particulier grâce à la formulation du mélange final et à l'optimisation des pourcentages (2.5), deux produits finaux distincts ont été obtenus avec succès qui répondent aux besoins nutritionnels spécifiques : Le premier produit (aliment d'engraissement) il est formulé pour améliorer l'efficacité de la conversion alimentaire et accélérer la croissance des animaux engraisant, en mettant l'accent sur un rapport énergie-protéine spécifique. Le deuxième produit (aliment de croissance) développé pour soutenir la croissance des ruminants, en tenant compte des besoins particuliers de leur système digestif et des exigences du développement structurel. Ces deux produits témoignent de la faisabilité technique et économique d'utiliser les déchets agricoles comme composants essentiels et efficaces dans l'alimentation animale, ouvrant ainsi de larges perspectives pour la contribution de l'étude à la sécurité alimentaire et à la durabilité environnementale.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] FAO. (2019). Food loss and waste in the Near East and North Africa region. <http://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>.
- [2] Agence Nationale des Déchets. (s.d.). Stratégie nationale de la gestion des déchets. <https://and.dz/presentation/strategie-nationale-de-la-gestion-des-dechets/>.
- [3] Ouest Tribune. (2022, 19 Avril). Gaspillage alimentaire en Algérie: Une étude pour évaluer l'ampleur du phénomène. <https://ouest-tribune.dz/une-etude-pour-evaluer-lampleur-du-phenomene/>.
- [4] Mahmoudi, S., & Mahmoudi, N. (2024). Gestion et valorisation des déchets des abattoirs avicoles en Algérie. *Journal de l'Économie Circulaire et Développement Durable*, 3(02). <https://jecdd.org/index.php/jecdd/article/view/36>.
- [5] Mahmoudi, S., & Mahmoudi, N. (2024). Gestion et valorisation des déchets des abattoirs avicoles en Algérie. *Journal de l'Économie Circulaire et Développement Durable*, 3(02). <https://jecdd.org/index.php/jecdd/article/view/36>.
- [6] Bouguedoura, N. (2022). Gestion des déchets organiques en Algérie: Analyse sectorielle et opportunités d'affaires [Rapport]. *Agroberichten Buitenland*.
- [7] Yamina, A. (2021). Contribution au suivi de la gestion et la valorisation des déchets dans le centre d'enfouissement technique: Cas du CET Zef Zef [Thèse]. Université 8 Mai 1945 Guelma. <http://dspace.univ-guelma.dz/jspui/handle/123456789/12184>.
- [8] Medjahed, H. (2022). Contribution à la caractérisation des déchets urbains solides issus des activités commerciales et de services: Cas de la commune Annaba [Thèse de doctorat]. Université Badji Mokhtar Annaba. <https://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2023/03/These-Medjahed-Hamza.pdf>.
- [9] Ny Itokiana Tsihoarana Mandimbimiarana. (2021). Valorisation des déchets de fruits et légumes pour des fins de production de bioéthanol et de biogaz [Mémoire]. École Supérieure Polytechnique, Université d'Antananarivo. <https://polytechnique.mg/theseboky-licences-itokiana.pdf>.
- [10] Dufresne, J.-L. (2009). L'utilisation du potentiel de réchauffement global pour comparer les émissions de méthane et de CO₂. *La Météorologie*, (64), 1-10. <https://hal.science/hal-00423476v1/document>.
- [11] Pooja, P. (2024). Environmental degradation: Causes, impacts and mitigation. *Journal of Advances in Science and Technology*, 20(1), 220-223. <https://doi.org/10.29070/94vmdz61>.

- [12] Nengjian, F. (2011). Food waste decomposition bucket. <https://typeset.io/papers/food-waste-decomposition-bucket-2tae1m9d78>.
- [13] Mathur, A. (2018). Consumer overconsumption: A conceptual model of its antecedents and consequences. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99181-8_114.
- [14] Afraz, M. T., et al. (2023). Sub critical and supercritical fluids to valorize industrial fruit and vegetable waste. *Foods*, 12(12), 2417. <https://doi.org/10.3390/foods12122417>.
- [15] Mannaa, M., et al. (2024). Insect-based agri-food waste valorization. *Environmental Science and Ecotechnology*, 17, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.esec.2023.100287>.
- [16] Kabeyi, M. J., et al. (2024). Biogas production and process control improvements. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.113061>.
- [17] Dadda, M., & Medjouri, R. (2020). Séchage et qualité des aliments par le procédé de séchage solaire (indirecte) dans une zone aride. Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [18] Brahim, K., & Abdeslam, T. (2017). Étude et amélioration de l'efficacité énergétique d'un séchoir solaire direct à convection naturelle [Mémoire]. Université de Ouargla.
- [19] Raache, H., & Bouafia, N. (2021). Étude comparative de deux techniques de séchage au soleil sur la qualité de l'écorce d'oranges [Mémoire]. Université Kasdi Merbah Ouargla. <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/28986>.
- [20] Boukadoum, A. (s.d.). Le séchage industriel partiellement solaire. Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER).
- [21] Lavigne, C. (2019). La conservation des aliments par le procédé à haute pression hydrostatique. *Nutrition - Science en evolution*, 16(3), 15-19. <https://doi.org/10.7202/1059217ar>.
- [22] JBT Avure Technologies. (2021). Traitement haute pression (HPP) [White paper].
- [23] Sharma, M., et al. (2024). Applications et bénéfices de la haute pression hydrostatique. *Techniques & Ingénierie Agroalimentaire*, 12(3), 145-162.
- [24] Aouidad, M., & Issiboucene, N. (2021). Valorisation des déchets issus des fruits et légumes: Cas d'une chaîne de distribution de la Wilaya de Tizi-Ouzou. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. <https://bucket.theses-algerie.com/files/repositories-dz/3077297505343547.pdf>.
- [25] Furtado, G. D., & Guedes, A. F. L. (2020). Characteristics of energy and protein foods. 3(3), 90-93. <https://doi.org/10.32435/ENVSMOKE.20203390-93>.
- [26] Crampton, E. W. (1964). Nutrient-to-calorie ratios in applied nutrition. *Journal of Nutrition*, 82(3), 353-365. <https://doi.org/10.1093/jn/82.3.353>.
- [27] Nutrition, 82(3), 353-365. <https://doi.org/10.1093/jn/82.3.353>.
- [28] McDonald, P., et al. (2011). *Animal nutrition* (7th ed.). Pearson.

- [29] Access Agriculture. (s.d.). Animal nutrition and feed rations. <https://assets.accessagriculture.org/s3fs>
- [30] Ignjatović-Micić, D., et al. (2024). Quality protein maize as a component of broiler diets. *Scientia Agricola*, 81, e20230078. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2023-0078>.
- [31] Seremesic-Milasinovic. (2016). The utilisable value of the maize plant (biomass) for silage.
- [32] Solagro. (2022). Les céréales et co-produits dans l'alimentation animale. https://solagro.org/medias/publications/fl20_2022_04_note_alimanimale_solagro.pdf.
- [33] Rybicka, I., et al. (2021). Selected dried fruits as a source of nutrients. *European Food Research and Technology*, 247(6), 2409-2419. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03802-1>.
- [34] Jalal, H., et al. (2023). Potential of fruits and vegetable by-products as an alternative feed source. *Agriculture*, 13(2), 286. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020286>.
- [35] Oliveira, T. L., et al. (2020). Physiological analysis and nutritional quality of maize. *Maydica*, 65(1), 8.
- [36] Yasmin, S., et al. (2022). Drying kinetics and quality aspects of bitter melon. *Food Research*, 6(4), 180-188. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(4\).437](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(4).437). [1]
- [37] Boizot, N., & Charpentier, J.-P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques. *Cahiers Techniques de l'INRA*.
- [38] Feedtables. (s.d.). Son de maïs. <https://feedtables.com/fr/content/son-de-mais>.
- [39] The Open Sanctuary Project. (2024). Régime alimentaire et compléments alimentaires pour les chèvres. <https://opensanctuary.org/regime-alimentaire-et-complements-alimentaires-pour-les-chevres/>.
- [40] Le Roi de la Poule. (s.d.). Alimentation pour l'élevage de chèvres et moutons. <https://www.le-roi-de-la-poule.com/blog-trucs-astuces-elevage-chevres-moutons-belgique/757-alimentation-nourriture-complements-alimentaires-elevage-chevres-moutons-caprin-ovin.html>.
- [41] Moreau, M. (2021). L'alimentation des chèvres de boucherie. [https://cepoq.com/wp-content/uploads/2024/07/Document accompagnement_formation-en-alimentation-caprine-e-boucherie.pdf](https://cepoq.com/wp-content/uploads/2024/07/Document_accompagnement_formation-en-alimentation-caprine-e-boucherie.pdf).
- [42] Triple Performance. (s.d.). Alimentations des caprins, ovins, bovins. https://wiki.tripleperformance.fr/images/fr/2/20/Alimentations_des_caprins_ovins_bovins.pdf
- [43] Djaalab, I. (2017-2018). Nutrition des ruminants [Polycopié]. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [44] https://fac.umc.edu.dz/vet/Cours_Ligne/Cours/NUTRITION_RUMINANTS.pdf.

- [45] INRAE, CIRAD, AFZ. (s.d.). Composition et valeurs nutritionnelles des matières premières. Feedtables. <https://feedtables.com/fr>.
- [46] INTERBEV. (2005). Le point sur l'alimentation des bovins et des ovins. Institut de l'Élevage.
- [47] Conseil en Agriculture. (s.d.). Alimentation bovine. <https://conseilenagriculture.fr/alimentation-bovine/>.
- [48] Institut de l'Innovation Ovine. (2019). Fiche alimentation 2019. <http://www.inn-ovin.fr/wp-content/uploads/2019/04/Fiche-alimentation-2019.pdf>.
- [49] Institut de l'Élevage. (2023). En engraissement de bovins. <https://idele.fr/detail-article/en-engraissement-de-bovins-des-solutions-pour-maitriser-son-cout-alimentaire>.

**ANNEXE- I-
LES ÉTAPES EXPÉRIMENTALES ET
MATÉRIELS UTILISÉES**

Le procédé de séchage



Figure 01: Déchets des fruits et légumes utilisés.



Figure 02: Déchets de fruits et légumes en tranches



Figure 03: Le maïs de fourrage utilisé.



Figure 04: Les tamis de séchage



Figure 05: Matière premier en tamis



Figure 06: Les déchets à l'air libre.



Figure 07: Les déchets séchés.



Figure 08: Les déchets en poudre.



Figure 09 : Les feuilles, les tiges et les fruits de maïs broyés.

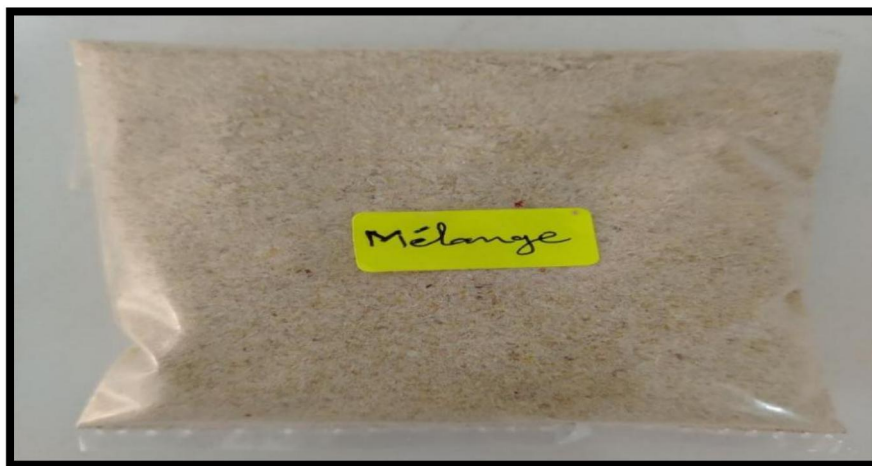


Figure 10: Le mélange des feuilles, les tiges et le maïs en poudre.



Figure 11: Broyeur type Siyo lux.

Taux d'humidité



Figure 12: La boîte de pétri en verre.



Figure 13: Etuve.

Mesure de la couleur



Figure 14: Colorimètre.



Figure 15: Déchets de fruits et légumes et maïs en poudre.

Dosage des Polyphénols Totaux

Figure 16: Les tubes à essai pour la macération.



Figure 17: Les échantillons avant de les mettre dans le spectrophotomètre uv-visible.

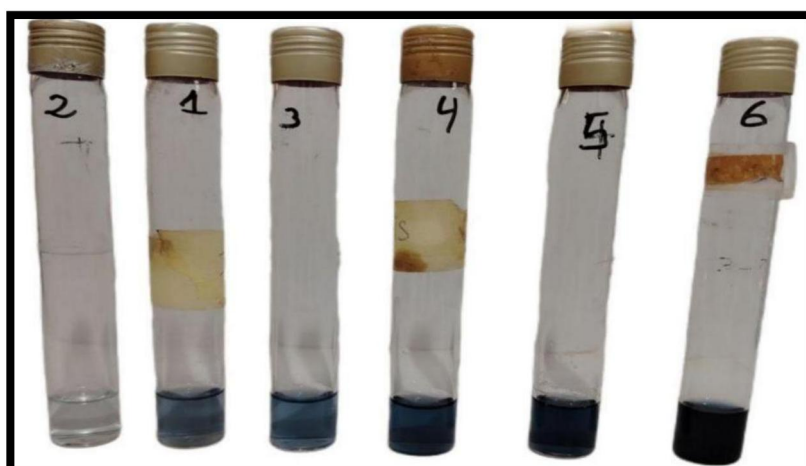


Figure 18: Les concentrations connues d'acide gallique.



Figure 19: Spectrophotomètre uv-visible.

Dosage des fibres au Détergent Neutre (NDF) -Milieu Basique



Figure 20: Echauffement des échantillons.



Figure 21: Filtration des échantillons.

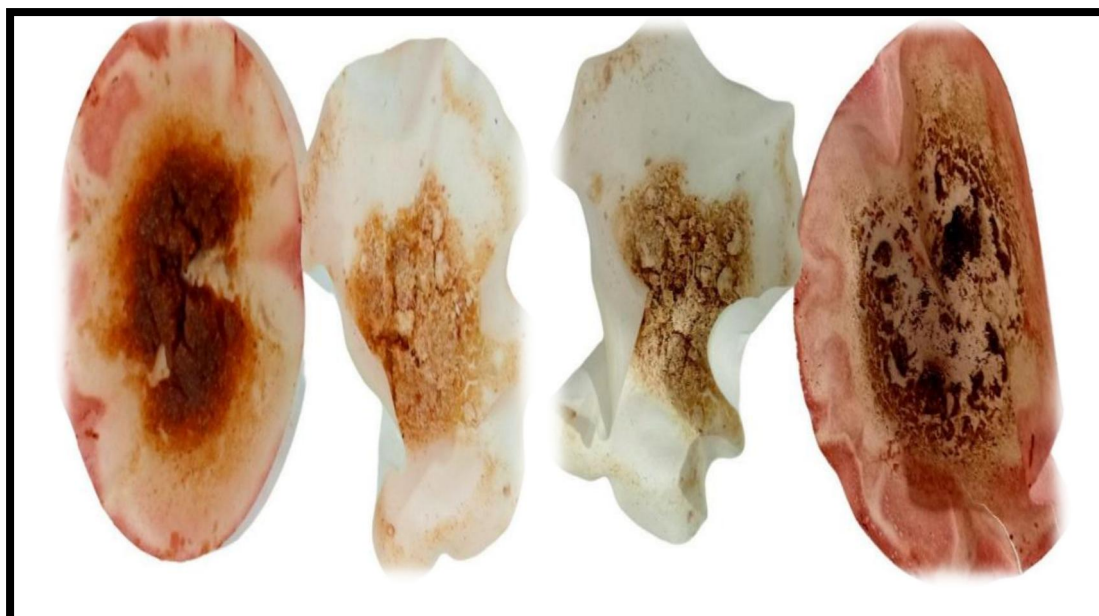


Figure 22: Les échantillons avant et après le séchage.



Figure 23: Papier filtre 110 mm.

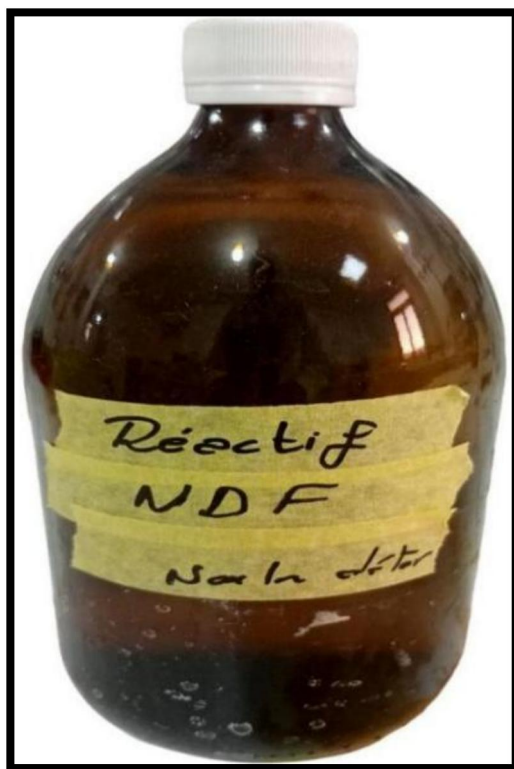


Figure 24: Réactif NDF.



Figure 25 : Dispositif de mesure de l'activité de l'eau.

Dosage de Protéines



Figure 26: Échauffement de mélange.



Figure 27: Distillation de mélange.



Figure 28: Titrage de distillat obtenus.

Dosage de la matière grasse (Les lipides)

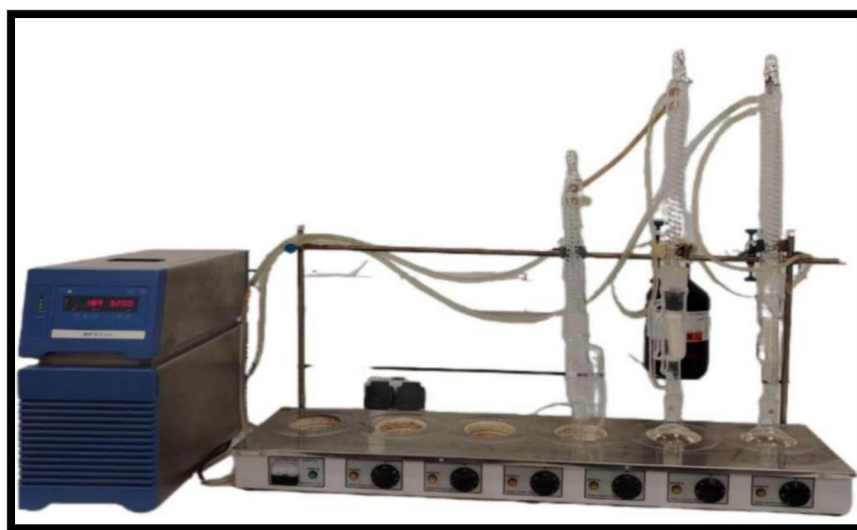


Figure 29: Dispositif d'extraction Soxhlet



Figure 30 :L'appareil évaporateur rotatif

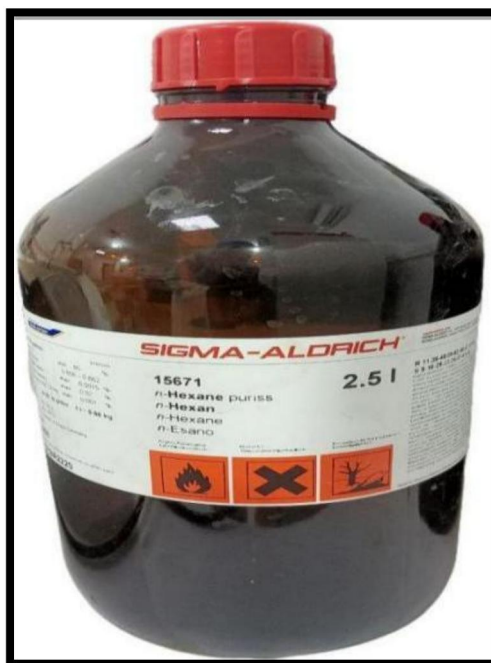


Figure 31 : Le solvant organique (Hexane).

Taux de Cendres



Figure 32 : Les bateaux de combustion en céramique vides.



Figure 33: Four a moufle type Nabertherm



Figure 34 : Les échantillons de maïs avant la combustion.

Mesure de pH

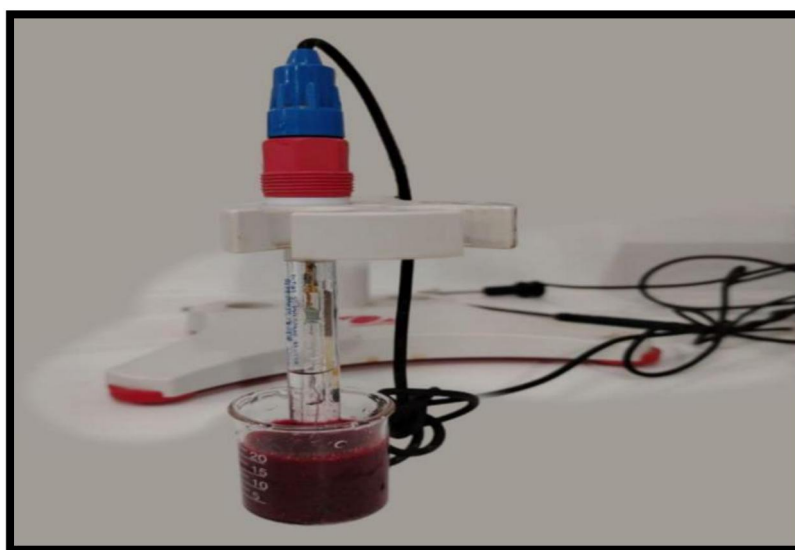


Figure 35 : Mesure de pH des déchets des fruits et des légumes.

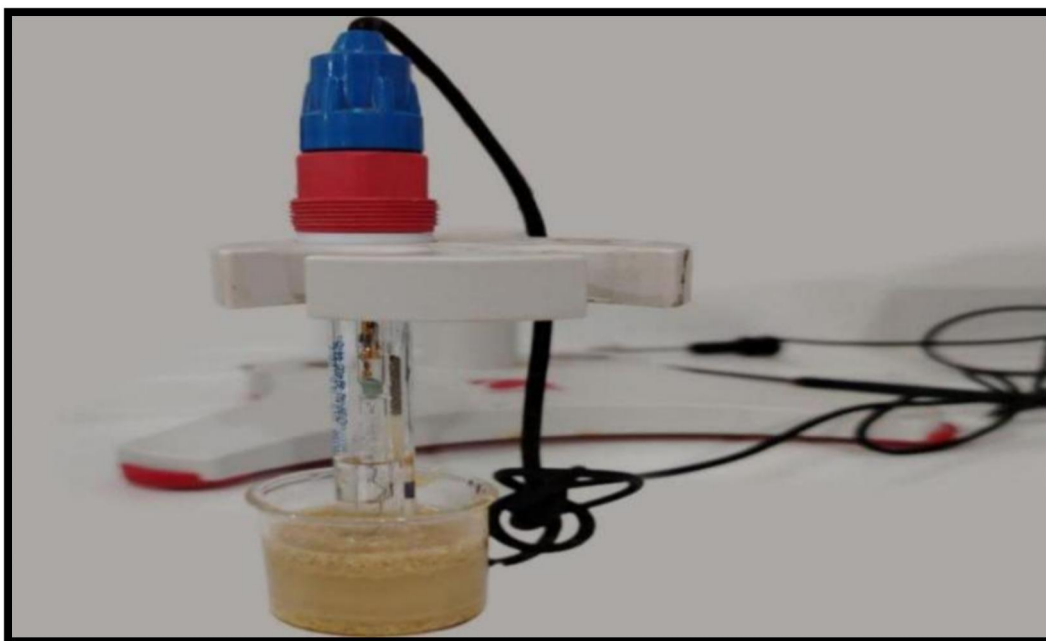


Figure 36 : Mesure du pH de maïs



Figure 37: Le pH mètre utilisé.

Test de digestion



Figure 38: Les échantillons avant l'incubation.



Figure 39: Les échantillons durant l'incubation.



Figure 40 : Les échantillons avant et après la centrifugation.

Analyse microbiologique



Figure 41 : Appareil centrifuge.

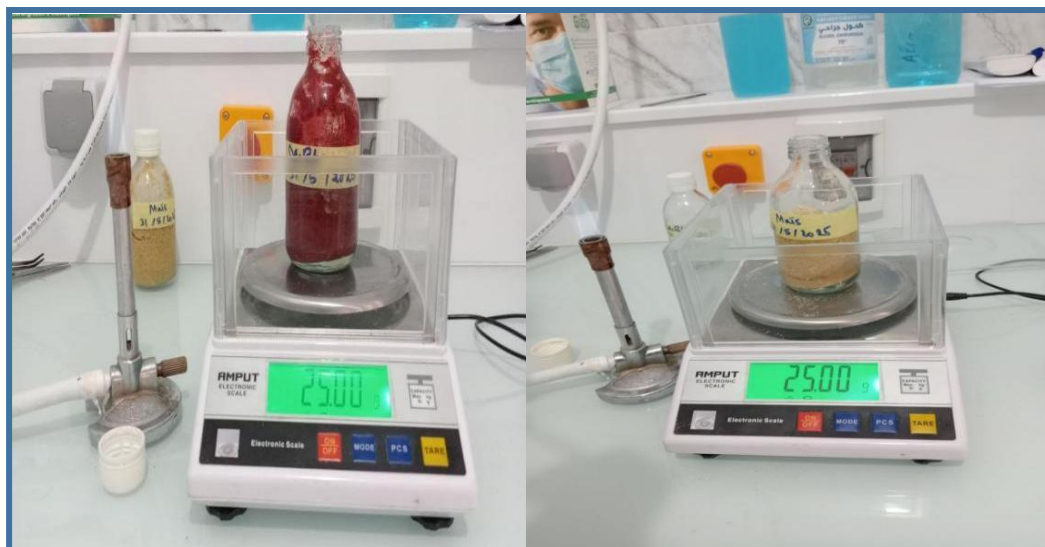


Figure 42 : Préparation des échantillons



Figure 43: Les échantillons dans l'eau chaude et l'eau froide.

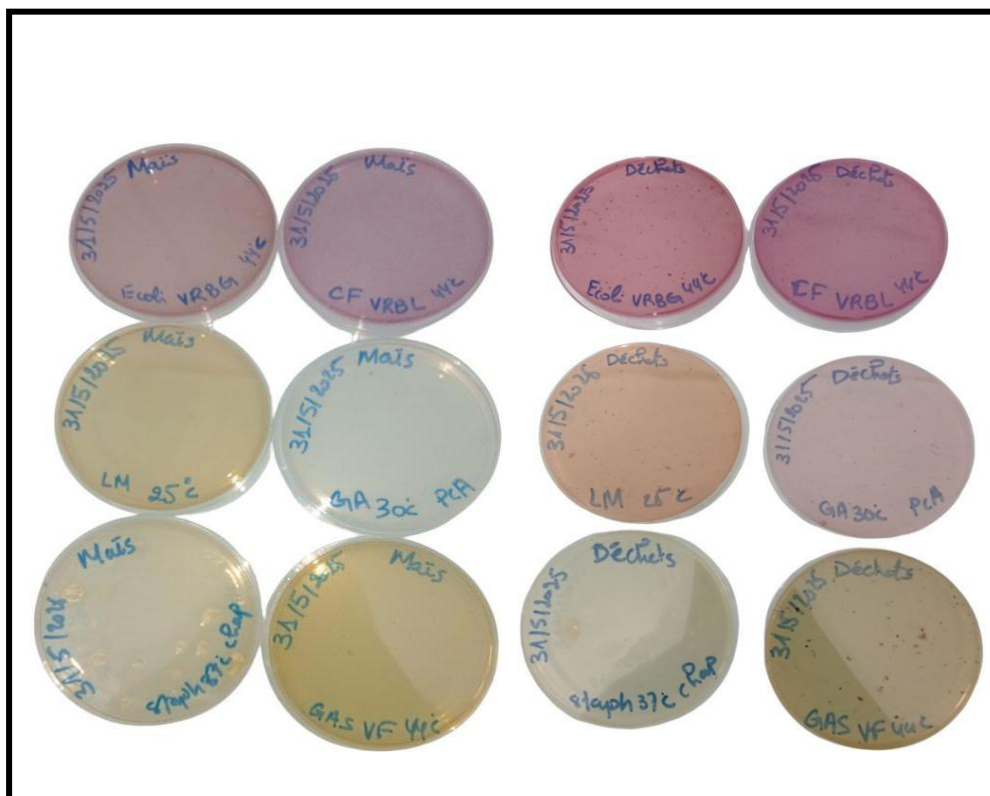


Figure 44 : Les échantillons avant l'incubation.



Figure 45: Etuve



Figure 46: Résultats de Levures et Moisissures



Figure 47: Résultats de Staphylocoques à coagulase +

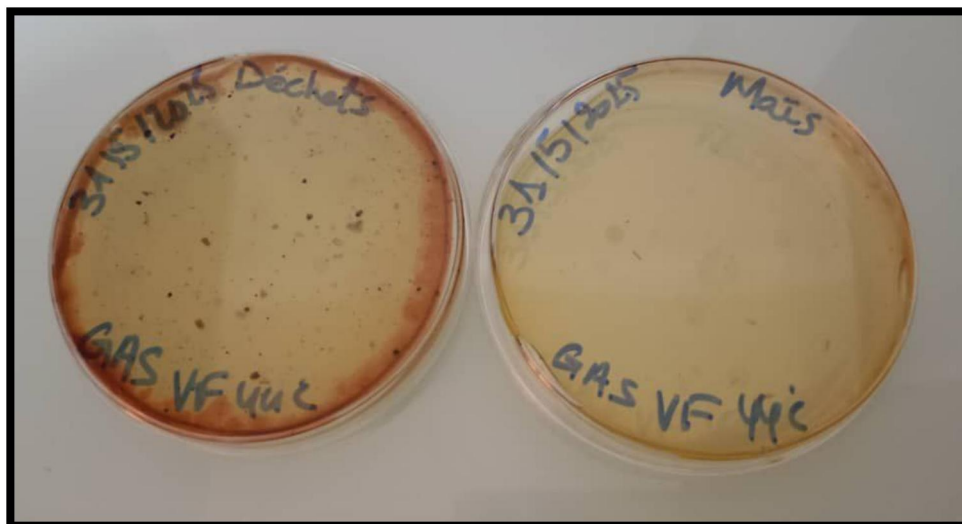


Figure 48: Résultats de Germes anaérobies sulfito-réducteurs.



Figure 49: Résultats de Germes aérobies à 30°C.



Figure 50: Résultats de Coliforme fécaux .

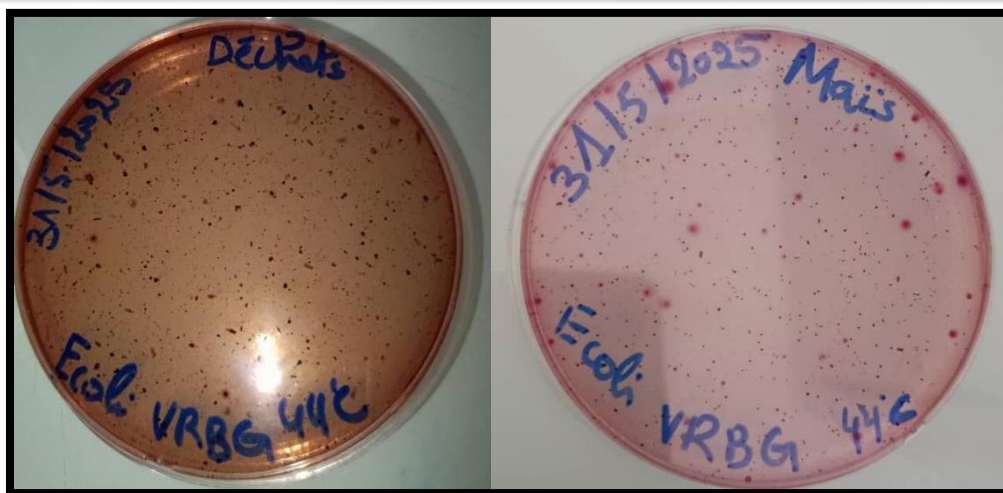


Figure 51: Résultats E.Coli

**ANNEXE- II –
LES FICHES TECHNIQUES
DE QUELQUES ALIMENTS
UTILISEES**

Fiche technique de la Betterave

Nom	Betterave
Nom botanique	<i>Beta vulgaris</i>
Famille	Chénopodiacees
Masse (g)	100
Calories (kcal)	233
Température optimale (°C)	20 à 28
Teneur en eau	0,20-0,25
Activité d'eau	0,19-0,26
pH	5,8 à 7
Cendres%	4 à 10
Polyphénols Totaux (mgEAG/g)	0,5
NDF% et ADF%	20 et 25
Protéines (g)	2,5
Lipides (g)	0,24
Glucides (g)	7 à 9
Digestibilité%	75 et 83
Potassium (K)(mg)	325
Manganèse (Mn) et Magnésium (Mg)	0,3 et 23
Calcium (Ca)(mg)	19
Phosphore(P) (mg)	40
Chlorure (C)(mg)	20
Sodium (Na)(mg)	78
Fer (Fe)(mg)	0,8
Zinc (Zn)(mg)	0,35
Vitamines (mg)	B1: 0,031. B2:0,04. B3:0,33. B5:0,16. B6:0,067. B9:0,08. C:3,6-5. B6:0,067 A:0,021E:0,04 K:0,0002

[45]

Fiche technique de Fenouil

Nom	Fenouil
Nom botanique	<i>Foeniculum vulgare</i>
Famille	Ombellifères
Masse (g)	100
Calories (kcal)	22
Température optimale (°C)	20
Teneur en eau	0,10-0,12
Activité d'eau	0,09-0,14
pH	5,5-6,5
Cendres%	6
Polyphénols Totaux (mgEAG/g)	0,06
NDF% et ADF%	2,7 et 2,6
Protéines (g)	1,2
Lipides (g)	0,3
Glucides (g)	2,6 à 3
Digestibilité%	2,23
Potassium (K)(mg)	430
Manganèse (Mn) et Magnésium (Mg)	0,19 et 40
Calcium (Ca)(mg)	49
Phosphore(P) (mg)	51
Chlorure (C)(mg)	78,6
Sodium (Na)(mg)	22
Fer (Fe)(mg)	2,7
Zinc (Zn)(mg)	0,19
Vitamines (mg)	B1:0,015.B2:0,01B3:6,05.B5:0,22.B6:0,05.B9:0,0196.C:2,57.A:0,00801 E:0,08 K:0,0628

[45]

Fiche technique d'oignon

Nom	Oignon
Nom botanique	<i>Allium cepa</i>
Famille	Alliacées
Masse (g)	100
Calories (kcal)	40
Température optimale (°C)	24
Teneur en eau	0,08-0,10
Activité d'eau	0,07-0,10
pH	4-5,5
Cendres%	2,5-6,64
Polyphénols Totaux (mgEAG/g)	130-140
NDF% et ADF%	2,5 et 2,5
Protéines (g)	1-1,3
Lipides (g)	0,4
Glucides (g)	5,63
Digestibilité%	85-90
Potassium (K)(mg)	190-220
Manganèse (Mn) et Magnésium (Mg)	0,12-0,13 et 9-13
Calcium (Ca)(mg)	22-29
Phosphore(P) (mg)	29-44
Chlorure (C)(mg)	20-22
Sodium (Na)(mg)	5-39
Fer (Fe)(mg)	0,19-0,21
Zinc (Zn)(mg)	0,19-0,23
Vitamines (mg)	B1:0,05.B2:0,05B3:0,5.B5:0,15.B6:0,1.B9:0,0296 .C:3,9.A:E:0,045 K:0,00035

[45]

Fiche technique de Fève

Nom	Fève
Nom botanique	<i>Vicia faba</i>
Famille	Fabacées
Masse (g)	100
Calories (kcal)	60-83
Température (°C)	21
Teneur en eau	0,05-0,08
Activité d'eau	< 0,06
pH	5-6
Cendres%	1,5-2
Polyphénols Totaux (mgEAG/g)	0,74
NDF% et ADF%	3,1 et 3,4
Protéines (g)	5,5-9
Lipides (g)	0,3-0,8
Glucides (g)	9-17
Digestibilité%	83
Potassium (K)(mg)	1060
Manganèse (Mn) et Magnésium (Mg)	1,63 et 192
Calcium (Ca)(mg)	103
Phosphore(P) (mg)	421
Chlorure (C)(mg)	< 20
Sodium (Na)(mg)	13
Fer (Fe)(mg)	6,7
Zinc (Zn)(mg)	3,14
Vitamines (mg)	B1:0,56. B2:0,33. B5:0,98. B6:0,37. B9:0,0423. C:1,4. A:0,00267. E:0,4-0,5. K:0,09

[45]

Fiche technique de Concombres

Nom	Concombre
Nom botanique	<i>Cucumis sativus</i>
Famille	Cucurbitacées
Masse (g)	100
Calories (kcal)	12-15
Température (°C)	28-30
Teneur en eau	0,10
Activité d'eau	0,05-0,09
pH	5,1-5,7
Cendres%	3,8
Polyphénols Totaux (mgEAG/g)	3,96
NDF% et ADF%	0,8 et 0,5-1
Protéines (g)	0,6
Lipides (g)	0,1-0,11
Glucides (g)	1,6 - 3,6
Digestibilité%	92
Potassium (K)(mg)	140-157
Manganèse (Mn) et Magnésium (Mg)	0,085-0,11 et 8,9-13
Calcium (Ca)(mg)	14-16
Phosphore (P) (mg)	21-25
Chlorure (C)(mg)	7,6
Sodium (Na)(mg)	2-4
Fer (Fe)(mg)	0.14-0,28
Zinc (Zn)(mg)	0,1-0,2
Vitamines (mg)	B1:0,027. B2:0,033. B3:0,18. B5:0,28. B6:0,04. B9:0,007. C:8,25. A:0,045.E:0,09 K:0,0164

[45]

Fiche technique de kiwi

Nom	Kiwi
Nom botanique	<i>Actinidia sp.</i>
Famille	Actinidiacées
Masse (g)	100
Calories (kcal)	58-61
Température (°C)	15
Teneur en eau	0,20
Activité d'eau	0,20-0,60
pH	3-4
Cendres%	5,7
Polyphénols Totaux (mgEAG/g)	180
NDF% et ADF%	2-3 et 1,3
Protéines (g)	0,9-1,2
Lipides (g)	0,5-0,6
Glucides (g)	9,8-11
Digestibilité%	70
Potassium (K)(mg)	290-312
Manganèse (Mn) et Magnésium (Mg)	0,05-0,1 et 12-17
Calcium (Ca)(mg)	26-34
Phosphore(P) (mg)	26-47
Chlorure (C)(mg)	35
Sodium (Na)(mg)	3
Fer (Fe)(mg)	0,16-0,31
Zinc (Zn)(mg)	0,1-0,14
Vitamines (mg)	B1:0. B2:0. B3:0,3. B5:0,2. B6:0,1.B9:0,0365. C:92,7 A:0. E:1,2 K:0,040

[45]

Fiche technique de Mangue

Nom	Mangue
Nom botanique	<i>Mangifera indica</i>
Famille	Anacardiaceae
Masse (g)	100
Calories (kcal)	300
Température optimale (°C)	30-35
Teneur en eau	0,08-0,24
Activité d'eau	0,10-0,20
pH	3,5-4,2
Cendres%	2-2,5
Polyphénols Totaux (mgEAG/g)	68
NDF% et ADF%	1,6 et 1,7
Protéines (g)	0,5-0,8
Lipides (g)	0,2-0,4
Glucides (g)	14-17
Digestibilité%	8-15
Potassium (K)(mg)	180
Manganèse (Mn) et Magnésium (Mg)	0,045-0,3et 9-13
Calcium (Ca)(mg)	12-20
Phosphore(P) (mg)	14-22
Chlorure (C)(mg)	21,8
Sodium (Na)(mg)	2-5
Fer (Fe)(mg)	0,1-0,7
Zinc (Zn)(mg)	0,08-0,2
Vitamines (mg)	B1:0,06. B2:0,1. B3:0,6. B5:0,2. B6:0,12. B9:0,070. C:44 A:3 E:1,8 K:0,0011

[45]

Fiche technique d'Orange

Nom	Orange
Nom botanique	<i>Citrus sinensis</i>
Famille	Rutacées
Masse (g)	100
Calories (kcal)	45-47
Température (°C)	20
Teneur en eau	0,20-0,25
Activité d'eau	0,60
pH	3,1- 4
Cendres%	1,5
Polyphénols Totaux (mgEAG/g)	48,85
NDF% et ADF%	13-14 et 2,7
Protéines (g)	5,6-6
Lipides (g)	1-2
Glucides (g)	83
Digestibilité%	60-80
Potassium (K)(mg)	180
Manganèse (Mn) et Magnésium (Mg)	0,02 et 15
Calcium (Ca)(mg)	66
Phosphore(P) (mg)	38
Chlorure (C)(mg)	0,07
Sodium (Na)(mg)	<5
Fer (Fe)(mg)	0,57
Zinc (Zn)(mg)	0,25
Vitamines (mg)	B1:0,087. B2:0,051. B3:0,282. B5:0,4. B6:0,04. B9:0,0259. C:59,4. A:0,015 E:0,19 K:0

[45]

Fiche technique de Pomme

Nom	Pomme
Nom botanique	<i>Piridion sp.</i>
Famille	Rosacées
Masse (g)	100
Calories (kcal)	52
Température optimale(°C)	15
Teneur en eau	0,22-0,24
Activité d'eau	0,60
pH	6,5-6,8
Cendres%	5,7
Polyphénols Totaux (mgEAG/g)	154
NDF% et ADF%	9-13 et 9-10
Protéines (g)	1-1,4
Lipides (g)	0,3-0,4
Glucides (g)	57-92
Digestibilité%	80
Potassium (K)(mg)	450-620
Manganèse (Mn) et Magnésium (Mg)	0,15 et 10,5-20
Calcium (Ca)(mg)	22-30
Phosphore(P) (mg)	38-50
Chlorure (C)(mg)	>20
Sodium (Na)(mg)	25-87
Fer (Fe)(mg)	1,2-1,4
Zinc (Zn)(mg)	0,2
Vitamines (mg)	B1:0,065. B2:0,13. B3:0,76. B5:0,27. B6:0,13. B9:0 C:3,9. A: 0 E:0,53 K:0,0003

[45]

Fiche technique de Maïs

Nom	Maïs
Nom botanique	<i>Zea mays</i>
Famille	Graminées
Masse (g)	100
Calories (kcal)	384-445
Température (°C)	20
Teneur en eau	0,30-0,35
Activité d'eau	0,40
pH	3,4-4,2
Cendres%	6
Polyphénols Totaux (mgEAG/g)	300
NDF% et ADF%	40-45 et 20-26
Protéines (g)	8-14
Lipides (g)	2-3
Glucides (g)	70-75
Digestibilité%	70
Potassium (K)(mg)	3,1-3,6
Manganèse (Mn) et Magnésium (Mg)	9-10 et 1-1,2
Calcium (Ca)(mg)	0,4-0,5
Phosphore(P) (mg)	2,5-3
Chlorure (C)(mg)	50-60
Sodium (Na)(mg)	0,03-0,04
Fer (Fe)(mg)	35-40
Zinc (Zn)(mg)	20-24
Vitamines (mg)	B1:2,3. B2:1,4 B3:16. B5:0,67. B6:2,6. B9:0,3. C:0 A:0,000081 E:0,49 K:0

[45]