

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité/Option : Production et Transformation Laitières

Département : Écologie et Génie de l'Environnement (EGE)

Aliments alternatifs pour les ruminants : vers l'obtention des produits durables

Présenté par :

KHALDI Chawki

Devant le jury composé de :

Dr. TOUATI Hassen	MCB	Président	Université 8 Mai 1945, Guelma
Dr. BOUDALIA Sofiane	MCA	Encadreur	Université 8 Mai 1945, Guelma
Dr. BOUSBIA Aissam	MCA	Examineur	Université 8 Mai 1945, Guelma

Juin 2024

Remerciements

En premier lieu je remercie Dieu de m'avoir procuré le courage et la persévérance pour mener à terme ce travail et de m'avoir fait vivre ce moment tant espéré.

Tout d'abord, je remercie chaleureusement mon encadreur **Dr BOUDALIA Sofiane**, pour son soutien indéfectible, ses conseils avisés et sa patience tout au long de ce travail. Son expertise et son encadrement ont été essentiels à la réussite de ce projet.

Je remercie également très sincèrement les membres du jury, le président **Dr TOUATI Hassen**, ainsi que **Dr BOUSBIA Aissam** en sa qualité d'examinateur, pour avoir bien voulu accepté d'évaluer et d'examiner ce travail.

Je souhaite également remercier l'ensemble des membres du corps professoral de l'Université 8 mai 1945, Guelma dont les enseignements et les discussions enrichissantes ont largement contribué à l'approfondissement de mes connaissances et à l'orientation de mes recherches.

Je suis particulièrement reconnaissant envers le laboratoire de la Direction de la santé public, Guelma pour leur aide précieuse dans la collecte des données et pour leur disponibilité, ainsi que toutes les personnes qui m'ont aidé de loin ou de près. Leur collaboration a été déterminante pour la qualité de ce mémoire.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers ma famille et mes amis pour leur encouragement inconditionnel et leur compréhension tout au long de ces années d'études. Leur soutien affectif a été un pilier fondamental dans l'achèvement de ce mémoire.

Ce travail n'aurait pas été possible sans l'apport de chacune de ces contributions.

À tous, je dis un grand Merci.

Dédicaces

Ce mémoire est dédié à :

Mes parents, pour leur amour inconditionnel et leur foi en moi. Votre soutien tout au long de ma vie m'a permis de rêver grand et de poursuivre mes ambitions sans relâche.

Mon épouse qui m'a encouragé et soutenue toute au long de cette aventure et mes enfants, **Abderrahmen, Rahma** et **Amina**. Même s'ils sont encore jeunes pour comprendre pleinement ce que j'ai réalisé c'est en pensant à eux que j'ai trouvé la motivation pour poursuivre mes études avec dévouement. J'espère que cet exemple leur servira de modèle dans leurs propres vies.

Mes chères frères et sœurs, **Abdelwaheb, Lazhar, Kheireddine, Latifa, Nacira** et **Hasiba** ainsi qu'à tous leur enfants pour leur encouragement et leur présence constante. Vous avez toujours été là pour me soutenir et m'inspirer.

Mes enseignants pour leur bienveillance et leur dévouement à la contribution de notre formation.

Enfin, à tous ceux qui jonglent entre travail, famille et études, ce mémoire est une preuve que, avec détermination et soutien, tout est possible.

KHALDI Chawki

Résumé

Face aux défis climatiques amplifiés par la croissance démographique, l'urbanisation, la réduction des ressources pastorales, la dégradation des terres et les changements dans l'utilisation et la couverture des terres, il est primordial de revoir les stratégies et les pratiques de l'alimentation animale. L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité du lait de chèvre en milieu extensif et de formuler un aliment alternatif produit à partir de ressources locales, puis de mesurer sa digestibilité *in vitro*. Les échantillons de lait de chèvre ont été collectés dans un système extensif dans la région de Annaba (commune de Cheurfa). Ensuite, une analyse physicochimique et bactériologique a été effectuée. L'analyse a révélé un faible taux de matière sèche dégraissée (82g/l) et (22g/l) de protéines. La formulation d'un aliment à base de trois végétaux – l'Azolla, le Moringa et l'Origan – offrant des bénéfices notables à la fois sur le plan nutritionnel et environnemental, a donné des résultats encourageants sur la digestibilité lors des tests *in vitro* (48% pour le moringa). La combinaison d'Azolla, de Moringa et d'Origan que nous avons formulée peut offrir une ration équilibrée et riche en nutriments essentiels, contribuant ainsi à améliorer la santé animale et à augmenter la teneur en protéines du lait. Cette approche présente l'avantage supplémentaire d'être à la fois économique et écologique, car ces plantes peuvent être cultivées localement (114g/m² chaque jour pour l'Azolla sans aucun nutriment), réduisant ainsi les coûts de production et l'empreinte carbone, tout en garantissant un approvisionnement en fourrage stable toute l'année.

Mots clés :

Azolla pinnata ; *Moringa oleifera* ; Origan ; Analyses physicochimiques et Bactériologiques ; Digestibilité

Abstract

Climate challenges, driven by population growth, urbanization, reduction of pastoral resources, land degradation, and changes in land use and cover, underscore the need to reconsider animal feeding strategies and practices. The objective of this study was to evaluate the quality of goat milk collected from extensive systems, and then to formulate an alternative, eco-friendly feed produced from local resources, followed by measuring its *in vitro* digestibility. Goat milk samples were collected from an extensive system in the Annaba region (Cheurfa municipality). Additionally, physicochemical and bacteriological analyses were conducted. Findings revealed low levels of dry matter decrease (82g/l) and (22g/l) of proteins. A novel feed based on three plants – Azolla, Moringa, and Oregano – which offer significant benefits both nutritionally and environmentally, yielded encouraging results in digestibility during *in vitro* tests (48% for the Moringa). The combination of Azolla, Moringa, and Oregano that we formulated can provide a balanced ration rich in essential nutrients, thereby improving animal health and increasing milk protein content. This approach has the additional advantage of being both economical and ecological, as these plants can be locally cultivated (114g/m² every day for Azolla without any nutrients), thereby reducing production costs and carbon footprint, while ensuring a stable forage supply throughout the year.

Keywords:

Azolla pinnata; Moringa oleifera; Oregano; Physicochemical and Bacteriological Analyses; Digestibility.

المخلص

أمام التحديات المناخية المتفاقمة تحت تأثير النمو الديموغرافي، والتحضر، وقلة الموارد الرعوية، وتدهور الأراضي، والتغيرات في استخداماتها وتغطيتها، من الضروري إعادة النظر في استراتيجيات وممارسات تغذية الحيوانات. الهدف من هذه الدراسة هو تقييم جودة حليب الماعز المجمع من الأنظمة واسعة النطاق وصياغة غذاء بديل مُنتج من الموارد المحلية، ثم قياس هضميته داخل المخبر. تم جمع عينات من حليب الماعز من نظام الرعي واسع النطاق في منطقة عنابة (بلدية الشرفة). بعد ذلك، تم إجراء تحليل فيزيائي وكيميائي وبكتيريولوجي.

كشف التحليل عن مستويات منخفضة من المادة الجافة من غير الدسم (82غ/ل) و(22غ/ل) من البروتينات، أظهرت صياغة غذاء جديدة بناءً على ثلاث نباتات الأزولا والمورينجا والزعتر، التي تقدم فوائد ملحوظة من الناحية الغذائية والبيئية، نتائج مشجعة في هضميته أثناء الاختبارات داخل المخبر (48% بالنسبة للمورينجا). يمكن أن تقدم مزيج الأزولا والمورينجا والزعتر الذي قمنا بصياغته تغذية متوازنة وغنية بالعناصر الغذائية الأساسية، مما يسهم في تحسين صحة الحيوانات وزيادة محتوى البروتين في الحليب. تتميز هذه النهج بميزة إضافية من كونها اقتصادية وبيئية، حيث يمكن زراعة هذه النباتات محلياً (114غ/م² يومياً من الأزولا دون اية تغذية) من مما يقلل من تكاليف الإنتاج والبصمة الكربونية، مع ضمان إمداد مستقر بالأعلاف طوال العام.

الكلمات المفتاحية

الأزولا بيناتا؛ المورينجا اوليفيرا؛ الزعتر؛ التحاليل الفيزيوكيميائية والبكتيريولوجية؛ الهضمية.

Liste d'abréviations

Abréviation	Signification
%	Pour cent
°C	Degré Celsius
µm	Micromètre
cm	Centimètre
Ech	Echantillon
g/l	gramme par Litre
H	Heure
t	Tonne
m	Minimum
M	Maximum
JORA	Journal Officiel de la République Algérienne
kg	kilo gramme
kg /m ³	kilogramme par mètre cube
t/ha	Tonne par hectare
EST	Extrait sec totale
Lac	Lactose
MG	Matière Grasse
min	Minute
ml	Millilitre
mm	Millimètre
N	Nombre
PCA	Plate Count Agar
<i>S. aureus</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
SFB	Selenite F Broth
UFC	Unité Forment de Colonies

Liste des figures

Figure 1 : Critères pris en compte dans les systèmes d'alimentation existants pour les réponses de production et de santé animale, de qualité des produits et de rejets (Maxin et al., 2019)	4
Figure 2: Lactoscan (Milkotronic Ltd., Nova Zagora, Bulgaria) et son écran de lecture.....	13
Figure 3 : Echantillons sécher de gauche à droite Azolla, Moringa, Origan.....	19
Figure 4 : Vue de pret de l'Azolla pinnata	20
Figure5 : Feuilles et tiges de Moringa oleifera pendant le séchage	21
Figure6 : Feuilles, tiges et arbre de Moringa oleifera	22
Figure 7 : Feuilles et tiges d'origan.....	23
Figure 8 : Préparation des échantillons	23
Figure 9 : Préparation de la solution tampon salivaire	24
Figure 10 : Collecte et conservation du liquide ruminal	25
Figure 11 : Incubation des échantillons pour mesure de la digestibilité de la matière sèche	26
Figure 12 : Rinçage des sacs après incubation de 16 heures	26
Figure 13 : Mise au séchage des sacs de digestibilité	27
Figure14 : Préparation et culture d'Azolla pinnata	28
Figure 15 : Pourcentage de digestibilité in vitro de la matière sèche.....	34
Figure 16 : Racine de l'Azollapinnata.....	34
Figure 17 : Brunissement de l'Azolla et arrêt de développement	35

Liste des tableaux

Tableau 1 : Paramètres de production du Moringa lors de la première coupe	8
Tableau 2 : Composition de diverses solutions tampons de salive artificielle de McDougall1948	24
Tableau 3 : Résultats d'analyse physicochimique.....	30
Tableau 4 : Normes d'analyses physicochimiques.....	31
Tableau 5 : Résultats des analyses bactériologiques de lait (UFC/ml)	33
Tableau 6 : Résultats de la matière sèche après incubation.....	33

Table des matières

Résumé	I
Abstract	II
المخلص	III
Liste d'abréviations	IV
<i>Introduction générale</i>	1
<i>Chapitre I</i>	3
<i>Rappels bibliographiques</i>	3
1. <i>Le système alimentaire des ruminants</i>	4
2. <i>Principaux défis de l'alimentation des ruminants</i>	5
2.1. <i>Sous-nutrition et l'aptitude des femelles à se reproduire</i>	5
2.2. <i>Comportement alimentaire et contrôle de l'ingestion</i>	5
3. <i>Potentiel des aliments alternatifs pour une alimentation durable</i>	6
3.1. <i>Azolla pinnata</i>	6
3.1.1. <i>Description</i>	6
3.1.2. <i>Composition générale</i>	6
3.2. <i>Moringa oleifera</i>	7
3.2.1. <i>Description</i>	7
3.2.3. <i>Composition générale</i>	8
3.3. <i>Origan (Origanum vulgare L.)</i>	8
3.3.1. <i>Description</i>	8
<i>Chapitre II</i>	10
<i>Partie expérimentale</i>	10
1. <i>Analyses du lait</i>	11
1.1. <i>Analyses physico-chimiques :</i>	11
1.1.1. <i>Détermination de l'acidité</i>	12
1.1.2. <i>Détermination de la matière sèche</i>	12
1.1.3. <i>Analyse par LACTOSCAN</i>	13
1.2. <i>Analyses microbiologiques</i>	14
1.2.1. <i>Les milieux de culture</i>	15
1.2.2. <i>Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FAMT)</i>	15
1.2.3. <i>Recherche et dénombrement des Staphylococcus</i>	16
1.2.4. <i>Recherche et dénombrement des coliformes</i>	16
1.2.5. <i>Recherche et dénombrement des Salmonelles</i>	18
1.2.6. <i>Recherche et dénombrement de Listeria</i>	18
2. <i>Expérience 1</i>	19
2.1. <i>Azolla pinnata</i>	19
2.2. <i>Moringa oleifera</i>	20
2.3. <i>Origan (Origanum vulgare L.)</i>	21
3. <i>Expérience 2</i>	27
4. <i>Présentation des données et traitement statistique</i>	27
<i>Chapitre III</i>	28
<i>Résultats et discussions</i>	28
1. <i>Analyses physicochimiques</i>	29
2. <i>Analyses bactériologiques</i>	32
3. <i>Expérience 1</i>	32
4. <i>Expérience 2</i>	34
<i>Conclusion</i>	36
<i>Perspectives futures et recommandations pratiques</i>	37
<i>Références</i>	38
<i>Annexes</i>	42

Introduction générale

Manger pour vivre concerne toutes les espèces animales. Mieux vaut, pour de multiples raisons, que toutes les espèces ne mangent pas la même chose au même moment et au même endroit ([Tamisier and Dehorter 1999](#)). L'appétence décrit habituellement les attributs d'un aliment qui déclenchent une réaction sensorielle chez l'animal et est considérée comme étant liée à l'appétit de l'animal pour cet aliment ([Baumont 1996](#)). De nombreuses recherches ont suggéré que d'ici 2050, la production agricole mondiale devra doubler afin de répondre aux demandes anticipées liées à la croissance démographique, aux changements alimentaires et à l'augmentation de l'utilisation des biocarburants. Augmenter les rendements des cultures pour répondre à ces besoins croissants, plutôt que de recourir à une extension de la déforestation pour l'agriculture, est présenté comme une solution préférée pour atteindre cet objectif ([Ray, Mueller et al. 2013](#)).

En Algérie, les produits laitiers sont indispensables dans l'alimentation. Cependant, les importations ont continué d'augmenter, passant de 293 000 tonnes en 2009 à 425 000 tonnes en 2017, avec une moyenne annuelle de 328 000 tonnes. Cette augmentation des importations a entraîné une hausse de la facture d'importation, qui est passée en moyenne de 676 millions de dollars de 2000 à 2009 à 1 338 million de dollars de 2010 à 2019 ([Sahali, Sahnoune et al. 2022](#)). La disponibilité des aliments pour les animaux à des prix raisonnables, permettant de procurer un rendement économique favorisera l'extension des exploitations agricole est devenu un enjeu de souveraineté nationale. Ainsi, l'utilisation d'aliments alternatifs, non conventionnels, pour les ruminants semble une bonne stratégie pour une production plus durable.

Dans la littérature, l'exploration des ressources génétiques végétales et des coproduits agro-industriels comme options potentielles pour remplacer ou compléter l'alimentation animale est déjà utilisée dans plusieurs régions du monde ([Boudalia, Smeti et al. 2024](#)).

En Algérie, reconnue comme étant fortement touchée par le changement climatique, plusieurs études prévoient une diminution future des précipitations annuelles de 15 à 30% et une expansion des climats désertiques, conséquences de la réduction des zones tempérées au nord. Cela entraînera des températures plus élevées et des précipitations moins abondantes. En outre, la région se caractérise par un climat aride et la teneur en matière organique de la plupart des sols agricoles est inférieure à 1%, ce qui nuit à leur structure. Les pratiques agricoles extensives, telles que le labourage excessif, le surpâturage et la dénudation des sols,

ont exacerbé cette situation. Les conséquences à long terme incluent une dégradation importante des sols et, éventuellement, la désertification ([Ariom, Dimon et al. 2022](#)).

L'objectif général de cette étude est d'évaluer les effets des ressources alimentaires alternatives utilisant des ressources génétiques végétales sauvages, telles que l'*Azolla pinnata*, le *Moringa oleifera* et l'Origan sur la qualité du lait des caprins et la digestibilité ruminale.

Chapitre I

Rappels bibliographiques

1. Le système alimentaire des ruminants

Certains systèmes d'alimentation des ruminants offrent actuellement des modèles de réaction des animaux aux rations en matière de santé, de production et de qualité des produits. Dans les principaux systèmes d'alimentation des ruminants, les modèles de réponse sont résumés dans la figure 1. Ces modèles se concentrent principalement sur la production animale et les émissions, avec une attention limitée portée à la santé, à l'exception du risque d'acidose ([Maxin, Nozière et al. 2019](#)). Quatre catégories de réponses de l'animal sont considérées dans l'évaluation multicritère des rations : productions, santé, environnement et qualité des produits. Au sein de chaque catégorie de réponses, différentes dimensions sont considérées, puis détaillées en critères évalués à partir d'indicateurs mesurés ou estimés sur les aliments.

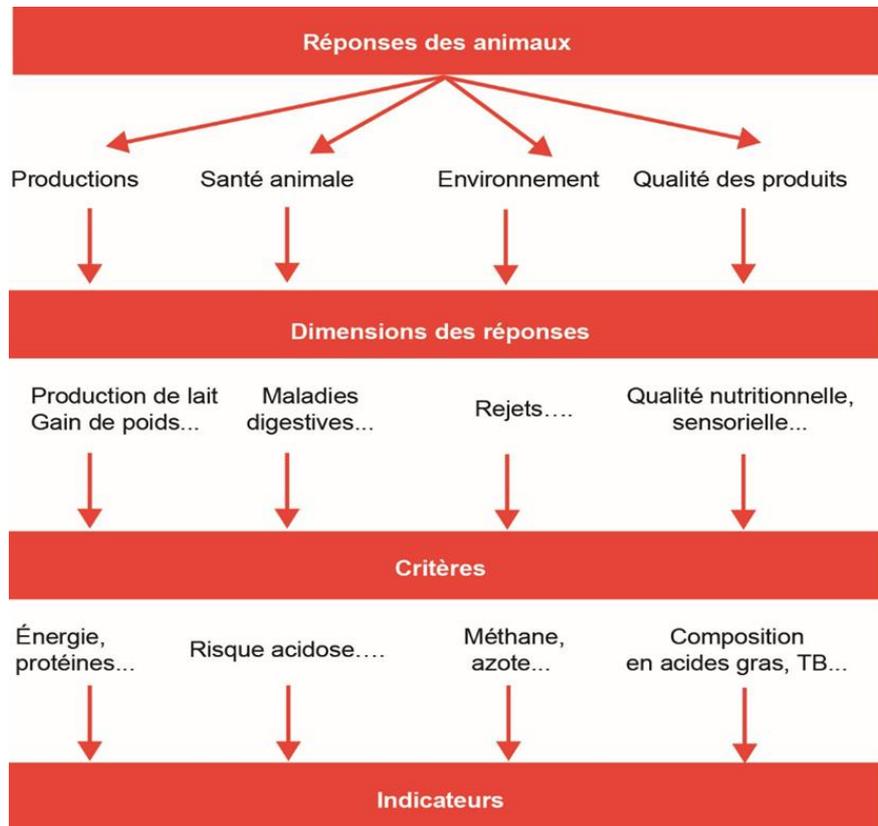


Figure 1 : Critères pris en compte dans les systèmes d'alimentation existants pour les réponses de production et de santé animale, de qualité des produits et de rejets ([Maxin, Nozière et al. 2019](#))

2. Principaux défis de l'alimentation des ruminants

2.1. Sous-nutrition et l'aptitude des femelles à se reproduire

La fonction de reproduction est une composante essentielle de la productivité dans les systèmes d'élevage. De nombreuses recherches ont montré que cette fonction biologique est très sensible à l'état nutritionnel des femelles ([Blanc, Bocquier et al. 2004](#)). Les impacts de la nutrition sur la capacité reproductrice peuvent être observés à diverses étapes de la vie productive des femelles : dès leur jeune âge au moment de la puberté et chez les femelles adultes, par les effets sur les taux de fertilité et de prolificité ([Van Tien, Liang et al. 2003](#)). Par conséquent, la capacité des ruminants à compenser la faible valeur nutritive des aliments par une ingestion massive influence les rythmes de reproduction. Ces ruminants, habitués dès leur jeune âge à pâturer des végétations très cellulosiques, développent plusieurs adaptations : une panse importante dès le début de leur vie, une flore cellulolytique active adaptée aux aliments locaux, et une grande efficacité à saisir rapidement de grandes quantités de feuillages d'arbres et arbustes, la composition spécifique des feuillages, avec une proportion notable de contenus cellulosique rapidement digestibles et une teneur en eau souvent inférieure à 60%, contribue également à cette capacité ([Meuret 2005](#)).

2.2. Comportement alimentaire et contrôle de l'ingestion

Le comportement alimentaire se caractérise par diverses variables, dont l'ingestion de matière sèche (DMI), qui représente une estimation globale de l'apport en nutriments, cette mesure dépend de plusieurs facteurs, tels que la taille de l'animal, son niveau de production et la composition de son alimentation ([Cuddeford 2013](#)). Un indicateur d'apport plus spécifique est l'apport énergétique net (UFL) ([Sauvant, Delaby et al. 2017](#)).

Un autre facteur est l'efficacité alimentaire (EF), définie comme le rapport production/apport. L'EF peut être mesurée par différentes méthodes, comme la consommation alimentaire résiduelle ou le ratio de conversion alimentaire ([Giger-Reverdin and Berthelot 2023](#)). L'EF a été évaluée par le rapport entre la production laitière standard (Fat and Protein Corrected Milk Yield, FPCMY) et l'apport énergétique, car cela représente la valorisation du lait en termes de quantité, qualité et coût de l'alimentation. Cette mesure est jugée la plus pertinente pour exprimer l'EF ([Giger-Reverdin and Erhard 2023](#)).

3. Potentiel des aliments alternatifs pour une alimentation durable

3.1. *Azolla pinnata*

3.1.1. Description

Azolla est une fougère aquatique flottante largement répandue dans le monde, préfère les habitats avec des eaux calmes comme les marais, les étangs et les berges des cours d'eau ([Raja, Rathaur et al. 2012](#)), l'*Azolla* présente un potentiel remarquable dans divers domaines tels que l'alimentation animale ([Bhatt, Chandra et al. 2020](#)) les biocarburants ([Salehzadeh, Naemi et al. 2014](#)) les bio raffineries, les milieux et le traitement des eaux usées ([Amare, Kebede et al. 2018](#)). Malgré ses multiples applications et son surnom « *or vert* », son exploitation en Algérie reste modeste voir insignifiante.

Selon la classification du Ptéridophyte Phylogénie Group (PPG I) ([PPG I 2016](#)), l'*Azolla* fait partie de la famille des Salviniaceae, comprenant sept espèces. Elle est subdivisée en deux sous-sections, *Euazolla* et *Rhizosperma*. *Euazolla* compte cinq espèces, notamment *Azolla microphylla*, *Azolla caroliniana*, *Azolla mexicana*, *Azolla rubra* et *Azolla filiculoides*. La sous-section *Rhizosperma* comprend *Azolla pinnata* et *Azolla nilotica*.

3.1.2. Composition générale

Azolla est une algue fixatrice d'azote atmosphérique grâce à sa symbiose. Selon [Alalade and Iyayi \(2006\)](#) la farine de *Azolla pinnata* contient 21,4% de protéines brutes, 12,7% de fibres brutes, 2,7% d'extrait à l'éther et contient également 2,25% de calcium et 0,40% de phosphore. La valeur de l'énergie métabolique calculée de *Azolla* séché est de 1807 kcal/kg ([Shamna, Peethambaran et al. 2013](#)). L'*Azolla* contient en moyenne 5 g de lysine/100 g de protéines et a un profil en acides aminés relativement bien équilibré et même si le profil en acides aminés est équilibré comparé à une ressource classique comme le tourteau de soja, la digestibilité de l'*Azolla* est faible et le taux de son incorporation dans un régime alimentaire ne doit pas dépasser 10-15% ([Leterme, Londono et al. 2009](#)). Cette particularité et du à la présence de taux élevé des tanins qui sont des composés de polyphénols hydrosolubles, se retrouve souvent associés à des alcaloïdes, des polysaccharides et des protéines, notamment ces dernières ([Han, Shen et al. 2007](#)), leur consommation par les animaux provoque des effets négatifs sur la productivité et affecte leur état sanitaire ([Foidl, Makkar et al. 2001](#)).

3.2. *Moringa oleifera*

3.2.1. Description

Le *Moringa oleifera* est l'espèce la plus connue des Moringaceae. C'est un arbre atteignant 5 à 10 m de hauteur ([Morton 1991](#)). Il pousse à l'état sauvage et cultivé dans les plaines, notamment le long des haies et dans les cours des maisons, résiste à la sécheresse et tolèrent un large éventail de conditions pédologiques et pluviométriques extrême minimum augmentant à 250 mm et un maximum dépassant 3000 mm par an, et un pH de 5,0 à 9,0 ([Palada and Chang 2003](#)). Ses fruits en forme de gousses à trois lobes mesurant 20 à 60 cm de long qui pendent des branches contiennent 12 à 35 graines rondes par gousse. Un arbre peut produire de 15 000 à 25 000 graines par an ([Makkar and Becker 1997](#)).

D'autres chercheurs mènent une étude qui a pour objet d'analyser le potentiel fourrager d'espèces ligneuses pour l'agro sylvo pastoralisme en Auvergne en 2050, un phéno typage multi-traités est en cours pour sélectionner les espèces, en tenant compte de la valeur alimentaire des feuilles et des caractéristiques éco physiologiques liées à la survie (résistance à la sécheresse et au gel). Les résultats préliminaires de 2019 sont basés sur une revue bibliographique et des mesures (résistance à la sécheresse et au gel, valeurs alimentaires *in vitro*). Ils concernent diverses espèces ligneuses de l'étage moyen-montagnard près de Clermont-Ferrand ([Ngao, Bernard et al. 2019](#)). Le *Moringa oleifera* peut avoir un grand intérêt vu son pouvoir productif élevé selon ([Foidl, Makkar et al. 2001](#)) qui ont mené une étude comprenant de nombreux essais pour déterminer la densité optimale de plantation du *Moringa* afin de maximiser la production de matière verte fraîche. Les espacements testés allaient de 1 m × 1m (10 000 plants/ha) à 2,5 cm × 2,5 cm (16 000 000 plants/ha). Après avoir considéré divers facteurs influençant l'efficacité globale, tels que le coût des semences, les pertes de plants lors de la première coupe et les coûts associés, ils ont conclu qu'un espacement de 10 cm × 10 cm (1 million de plants/ha) était optimal tableau 1, et un rendement continu puisque la coupe peut se faire tous les 45, 60 ou 75 jours, selon [Sánchez, Ledin et al. \(2006\)](#) une plantation de 750 000 plants/ha a une fréquence de coupe de 75 jours a produit 88t/ha de matière fraîche avec un rendement de 18,9 t/ha de matière sèche

Tableau 1 : Paramètres de production du Moringa lors de la première coupe ([Foidl, Makkar et al. 2001](#))

Densité de plantation (Plants/ha)	Matières fraîches (t/ha/coupe)	Matières sèches (t/ha)	Protéines (kg/ha)	Pertes de plants après la première coupe
95 000	19,6	3,33	566	n.d
350 000	29,7	5,05	859	n.d
900 000	52,6	8,94	1520	n.d
1000 000	78,0	13,26	2254	environ 2%

n.d = non déterminé

3.2.3. Composition générale

Les feuilles de *M. oleifera* présentent une qualité nutritionnelle intéressante avec un taux de protéines dont les teneurs moyennes varient entre 19 - 35% MS et 28,2% MS en cellulose brute ([Makkar and Becker 1996](#)) ([Richter, Siddhuraju et al. 2003](#)) ([Olugbemi, Mutayoba et al. 2010](#)). La matière grasse contenue dans les feuilles de *M. oleifera*, elle varie de 2,3 à 10% MS ([Richter, Siddhuraju et al. 2003](#)) ([Olugbemi, Mutayoba et al. 2010](#)).

Un autre phénomène plutôt rare pour une plante, les feuilles de *M. oleifera* ont un bon profil en acides aminés, elles contiennent les 10 acides aminés essentiels à l'homme et une très grande concentration en vitamines A (6,8 mg), B (423 mg), C (220 mg) etc. ; en minéraux (fer, calcium, zinc, sélénium, etc.) ([Mbor, Mundia et al. 2004](#)).

3.3. Origan (*Origanum vulgare L.*)

3.3.1. Description

L'Origan (*Origanum vulgare L.*) (Guignard, 1996), est une plante vivace herbacée de la famille des Lamiacées, reconnue pour ses propriétés aromatiques. Elle dégage un parfum marqué lorsqu'on écrase ses feuilles et ses fleurs. Les tiges dressées, parfois teintées de rouge et couvertes de poils, peuvent s'élever jusqu'à 50 cm. Les feuilles, de forme ovale, et les fleurs, de teinte pourpre, ajoutent à son attrait visuel. L'origan prospère dans des zones ensoleillées et arides, principalement dans les régions méditerranéennes, bien qu'on le trouve aussi en Europe, en Asie et dans le nord de l'Afrique ([Ličina, Stefanović et al. 2013](#)). Traditionnellement, ses feuilles sont employées pour leurs vertus antiseptiques et désinfectantes ([Ličina, Stefanović et al. 2013](#)) ([Bendifallah, Tchoulak et al. 2015](#)). Selon [Mascoloti Spréa, Caleja et al. \(2022\)](#), la famille des Lamiacées est une source de composés

phytochimiques qui ont des propriétés antioxydantes et antibactériennes, ainsi que [Cobellis, Acuti et al. \(2015\)](#) qui ont dévoilé une réduction de plus de -70% du taux ammoniacal dans le rumen en présence des huiles essentielles de l'origan.

Aujourd'hui, l'industrie alimentaire et animale cherche activement des substances naturelles, écologiques et sûres pour la nutrition. Les plantes aromatiques, répondant à ces exigences, peuvent servir de nutraceutiques dans diverses applications commerciales, comme les facteurs de croissance, les antimicrobiens, les immunostimulateurs, les antioxydants, les arômes, pigments et conservateurs chez les animaux, remplaçant ainsi les substances synthétiques ([Christaki, Giannenas et al. 2020](#)).

3.3.3. Composition générale

En plus du pouvoir antioxydant et antibactérien qui caractérise cette plante aromatiques, selon ([Ferreira-Anta, Torres et al. 2024](#)) l'Origan contient aussi 7,7 % de protéines, environ 11% de glucides et 2,5% de lipides .

Chapitre II

Partie expérimentale

1. Analyses du lait

➤ Objectif

Déterminer la qualité et la valeur nutritionnelle du lait de chèvres élevées exclusivement en système extensif.

➤ Préparation des échantillons

Trois échantillons (E1, E2, E3) des laits crus de chèvres provenant de trois fermes différentes dans la région de Annaba (Commune de Cheurfa) dont l'élevage est strictement extensif et l'alimentation se base exclusivement sur les plantes qui poussent dans la nature.

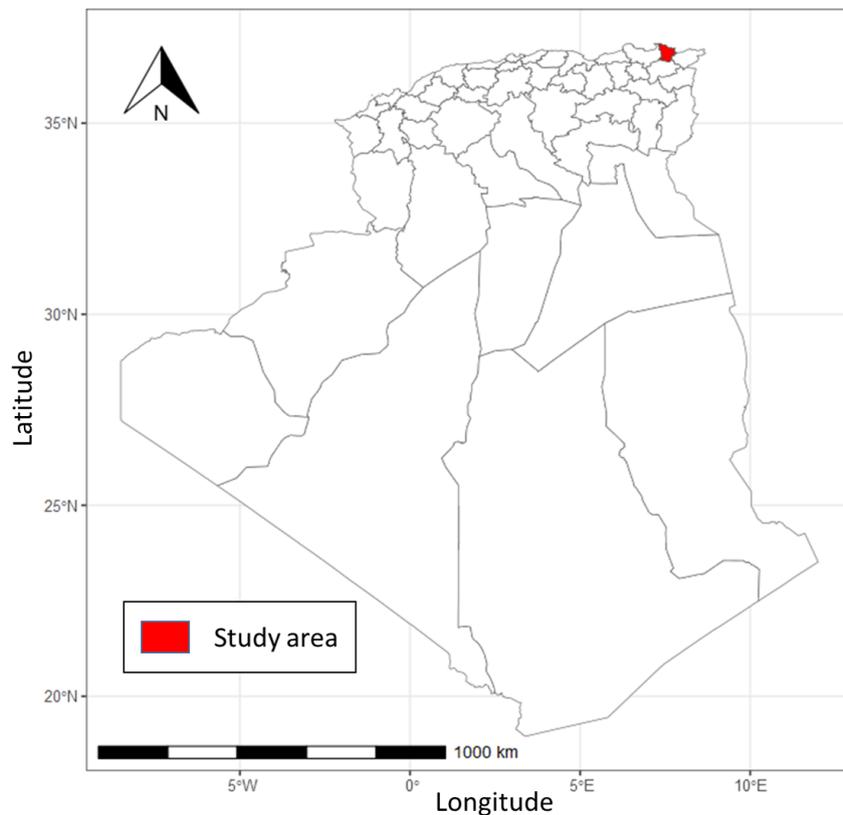


Figure1 : Carte montrant la zone de prélèvement, carte créée à l'aide de QGIS gratuit et open source

1.1. Analyses physico-chimiques :

Les analyses physico-chimiques des échantillons de lait de chèvre ont porté sur la mesure du pH, des taux de matière grasse, de protéines, de lactose, des minéraux, du point de congélation, de l'eau ajoutée, de l'extrait sec, de la conductivité et de la densité du lait en utilisant un Lactoscan (Milkotronic Ltd., Nova Zagora, Bulgaria). L'acidité et de la matière sèche ont été mesurés comme suit :

1.1.1. Détermination de l'acidité

L'acidité est mesurée par titrage acido-basique, où l'acide lactique du lait est neutralisé par une solution d'hydroxyde de sodium NaOH (N/9), avec la phénolphtaléine comme indicateur coloré ([Guiraud 1998](#)).

➤ *Mode opératoire :*

- Préparation de la solution de soude N/9.
- Préparation de la phénolphtaléine à 1%.
- Prélèvement de 10 ml de lait.
- Ajout de 3 à 4 gouttes de phénolphtaléine dans l'échantillon.
- Ajout goutte à goutte de la solution de soude jusqu'à obtenir une couleur rose pâle stable (environ 2 secondes d'attente pour la stabilisation de la couleur).
- Enregistrement du volume de soude versé.

Expression et calcul des résultats :

$$^{\circ}\text{D} = 10 \times V$$

Où :

$^{\circ}\text{D}$: acidité Dornic du lait

V : volume de NaOH versé

1.1.2. Détermination de la matière sèche

La matière sèche (EST) est le résidu sec obtenu en appliquant la méthode suivante, exprimée en grammes par litre (g/l).

➤ *Principe*

Le principe consiste à dessécher à $103 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dans une étuve pendant 3 heures et à peser le résidu.

➤ *Mode opératoire*

- Peser une coupelle propre et sèche pour obtenir le poids Mo.
- Introduire 10 ml de lait entier dans la coupelle pour la détermination de l'EST.
- Placer la coupelle dans l'étuve réglée à $103 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 3 heures.

• Après le temps imparti, laisser la coupelle refroidir à température ambiante dans un dessiccateur pour éviter la reprise d'humidité. Une fois refroidie, peser le poids de la coupelle et du résidu, c'est M1 ([Association française de normalisation 1993](#)).

➤ *Expression des résultats :*

La valeur de l'EST, exprimée en g/l de lait, est calculée selon la formule suivante :

$$\text{EST} = (M1 - M0) \times 1000 / V$$

Où

EST : extrait sec totale

M0 : la masse en grammes de la coupelle vide

M1 : la masse en grammes de la coupelle et du résidu après dessiccation et refroidissement

V : le volume en millilitres de la prise d'essai.

1.1.3. Analyse par LACTOSCAN

Le Lactoscan utilise un échantillon du lait de 12 ml mis dans un bécher, le lait ensuite est aspiré dans les cellules de mesure au moyen d'une pompe, après une minute l'appareil affiche sur un écran photo 2, 11 paramètres de mesures physicochimiques de l'échantillon.



Figure 2: Lactoscan (Milkotronic Ltd., Nova Zagora, Bulgaria) et son écran de lecture

1.2. Analyses microbiologiques

Sur le plan microbiologique, nous avons effectué le dénombrement et la recherche des microorganismes susceptibles d'évoluer dans le lait et qui sont cités dans l'Arrêté Interministériel du 2 Moharram 1438 correspondant au 4 octobre 2016 fixant les critères microbiologiques des denrées alimentaires par :

- Le ministère du commerce,
- Le ministre d'industrie et des mines,
- Le ministre de l'agriculture, du développement rural et de la pêche,
- Le ministre des ressources en eau et de l'environnement,
- Le ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalière. Ainsi les germes dont la recherche est exigée par le Journal Officiel de la république Algérien (annexe 1) sont :
 - Les Germes aérobies à 30 °C
 - Les Staphylocoques
 - Les Coliformes
 - Les Salmonella spp
 - Les antibiotiques
 - Listeria

➤ Préparation des échantillons

Trois échantillons (E1, E2, E3) des laits crus de chèvres provenant de trois fermes différentes dans la région de Annaba (commune Cheurfa) dont l'élevage est strictement extensif et l'alimentation se base exclusivement sur les plantes qui poussent dans la nature, ont été analysés.

➤ Technique des dilutions

Les dilutions décimales sont réalisées pour les milieux qui sont très riches en microorganismes. Pour faciliter le dénombrement, on utilise une solution Peptone sel ([Bonnefoy 2002](#)). Les solution mère et échantillons sont préparés comme suit :

- Un volume de 25 ml de chaque échantillon est ajouté à 225 ml de solution TSE.
- Un volume de 1 ml de la solution mère est transféré dans le premier tube 10^{-1} à l'aide d'une deuxième pipette stérile 1 ml à partir du tube à la dilution 10^{-1} est prélevé puis transféré 1 ml dans un tube contenant 9 ml de diluant c'est la dilution 10^{-2} et ainsi de suite pour la dilution 10^{-3} .

1.2.1. Les milieux de culture

Les milieux de culture utilisés sont ceux préparés dans les laboratoires pédagogiques de l'université 8 mai 1945 et la Direction de la Santé et Publique de la wilaya de Guelma.

➤ **Les milieux gélosés :**

- Milieu plate count agar (PCA) : est utilisé pour la recherche et le dénombrement de la flore totale aérobie mésophile (FAMT)
- Milieu de Chapman : milieu sélectif utilisé pour la recherche et le dénombrement des *Staphylococcus aureus*.
- Milieu bouillon lactosé au pourpre de bromo-crésol (BCPL) est utilisé pour la recherche et le dénombrement des coliformes.
- Milieu gélose hektoene, la recherche et le dénombrement des *Salmonelles*.
- Milieu gélose De Man Rogosa Sharpe (MRS) pour la détermination des lactobacilles.
- Milieu gélose au sang pour la recherche de *Listera*

➤ **Les milieux liquides**

- Tryptone Sel Eau (TSE) est utilisée comme diluant.

1.2.2. Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FAMT)

Cette flore, peut servir de bon indicateur de la qualité générale et de la stabilité des produits, ainsi, le nombre total de germes peut fournir une indication de la fraîcheur ou de la qualité sanitaire du produit ([Guiraud 1998](#)). La flore totale aérobie mésophile est composée d'une variété de micro-organismes correspondant aux germes courants de contamination, capables de se multiplier en présence d'oxygène à des températures comprises entre 25 et 40 °C ([Guiraud and Rosec 2004](#)). Les micro-organismes aérobies-anaérobies facultatifs se développent dans un milieu nutritif gélosé non sélectif défini et incubé à 30 °C pendant 72 heures, formant des colonies de tailles et de formes variées ([Petransxiene and Lapied 1981](#)).

- Le milieu de culture PCA est préparé en le chauffant dans un bain-marie, puis refroidi à 45 °C devant un bec Bunsen sur une surface bien stérile.
- Une dilution choisie de chaque échantillon (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) est ajoutée à une boîte de Pétri stérile.
- Un volume de 12 à 15 ml du milieu gélosé (PCA) sont coulés et mélangés avec soin pour assurer un ensemencement homogène.
- Les boîtes de pétri sontensemencées par dilution et laissées à solidifier, puis incubées à 30 °C pendant 24 à 72 heures.

Après l'incubation, toutes les colonies sont dénombrées sur les boîtes contenant de 30 à 300 colonies, et les résultats des dilutions sont rapportés.

1.2.3. Recherche et dénombrement des *Staphylococcus*

La recherche et le comptage de *Staphylococcus aureus* impliquent l'identification et le dénombrement de cocci Gram positif. Ces bactéries se regroupent en amas irréguliers, ne produisant pas de spores mais résistant à la dessiccation. Elles sont couramment présentes dans les poussières aéroportées et sur diverses surfaces. Le *Staphylococcus aureus*, en particulier, est une espèce pigmentée en jaune et est souvent associée aux infections humaines ([Joffin, Joffin et al. 2010](#)).

- Un volume de 0,1 ml de chaque dilution est ensemencé sur le milieu sélectif de Chapman.
- Incubation à 37 °C pendant 48 heures.
- L'identification se fait par coloration de gram (VLAF) comme suit :

Un frottis fixé à la chaleur est d'abord coloré au violet de cristal pendant une minute, puis rapidement rincé à l'eau du robinet. Ensuite, il est traité pendant une minute avec une solution de Lugol (composée d'iode et d'iodure de potassium), suivi d'un nouveau rinçage rapide. L'échantillon est ensuite soumis à une étape de décoloration en utilisant un solvant (éthanol à 95 %, l'acétone ou l'acétone iodée), on maintenant la lame inclinée et à faire couler le solvant sur l'échantillon pendant une durée très courte, de 1 à 3 secondes seulement, jusqu'à ce que le colorant cesse de s'écouler librement. Ensuite, l'échantillon est immédiatement rincé à l'eau courante. À ce stade, les cellules Gram-négatives demeurent incolores tandis que les cellules Gram-positives conservent leur couleur violette. Ensuite, l'échantillon est soumis à une contre-coloration de 30 secondes avec une solution diluée de fuchsine basique pour colorer en rouge les cellules Gram-négatives. Après un bref rinçage, l'échantillon est séché sur un buvard puis examiné à l'aide d'un objectif d'immersion à un grossissement d'environ ($\times 1000$) ([Larpent and Larpent-Gourgaud 1997](#)).

1.2.4. Recherche et dénombrement des coliformes

Les bactéries coliformes, membres de la famille des *Enterobacteriaceae*, sont généralement des indicateurs de contamination d'origine fécale ([Petrasxiene and Lapid 1981](#)). On les désigne également parfois sous le nom de coliformes thermo tolérants ou fécaux, ce sont des bactéries capables de produire du gaz à partir de lactose à 44°C ([Guiraud 1998](#)). Leur mise en évidence est faite par le test de Mac kenzie qui permet la détection présomptive d'*Escherichia-coli*.

La méthode de recherche et de comptage des Coliformes en milieu liquide implique deux tests successifs :

- Le test préliminaire, destiné à détecter les Coliformes totaux.
- Le test de confirmation, également connu sous le nom de test de Mac Kenzie, utilisé pour rechercher les Coliformes fécaux à partir des tubes positifs du test préliminaire.

Pour réaliser le test préliminaire, préparez une série de tubes contenant le milieu sélectif (BCPL) dans un portoir, avec deux tubes par dilution. À partir des dilutions décimales, ajoutez aseptiquement un volume de 1 ml dans chaque paire de tubes correspondant à une dilution spécifique. Éliminez éventuellement le gaz présent dans les cloches de Durham et assurez-vous de bien mélanger le milieu avec l'inoculum. Incubez à 37°C pendant 24 à 48 heures.

Pour interpréter les résultats :

- Un tube est considéré comme positif s'il présente à la fois un dégagement gazeux (supérieur à 1/10 de la hauteur de la cloche) et un trouble microbien accompagné d'un changement de couleur du milieu au jaune, indiquant la fermentation du lactose. Ces deux caractéristiques témoignent de la fermentation du lactose dans les conditions décrites.
- La lecture finale est réalisée conformément aux instructions de Mac Granday.

Pour le test de confirmation, les tubes de BCPL qui se sont avérés positifs lors du dénombrement des Coliformes totaux sont soumis à un repiquage. À l'aide d'une anse bouclée, prélevez une portion et inoculez-la à la fois dans :

- Un tube de BCPL équipé d'une cloche de Durham, et
- Un tube d'eau peptonée exempte d'indole.
- Éliminez éventuellement le gaz présent dans les cloches de Durham et assurez-vous de bien mélanger le milieu avec l'inoculum.

Pour l'incubation, placez les tubes dans un bain-marie à 44 °C pendant 24 heures.

L'interprétation des résultats se fait comme tel :

- Les tubes sont considérés comme positifs s'ils présentent à la fois un dégagement gazeux dans les tubes de BCPL et un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *Escherichia Coli*.

- Ajouter de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs dans le tube d'eau péptonée exempte d'indole.
- La lecture finale se fait selon les prescriptions de Mac Granday.

1.2.5. Recherche et dénombrement des *Salmonelles*

Les *Salmonelles* sont des bactéries en forme de bacilles, Gram négatif, qui peuvent survivre dans des environnements aéro-anaérobies facultatifs. Elles parasitent les intestins des animaux et peuvent être présentes dans les eaux usées. Toutes les souches de *Salmonelles* sont potentiellement pathogènes pour l'homme. Elles font partie de la famille des entérobactéries ([MADIGAN 2005](#)).

- Introduire un volume de 25 ml de lait fermenté dans 225 ml d'eau peptone tamponnée préalablement stérilisée. La préparation est homogénéisée puis incubée à 37 °C pendant 24 heures.
- Introduire un volume de 10 ml du liquide pré-enrichi dans 100 ml de bouillon sélénite, incuber pendant 24 heures à 37 °C.
- L'isolement est réalisé à partir du milieu d'enrichissement sur gélose Hektoen, incubé pendant 24 heures à 37 °C.

La lecture consiste à dénombrer les colonies de caractéristiques de 2 à 4 mm de diamètre, lisses de couleur bleu verdâtre avec ou sans centre noir ([Bourgeois and Leveau 1980](#)).

1.2.6. Recherche et dénombrement de *Listeria*

La recherche des *Listeria* implique la détection d'un petit bacille (0,5 - 2 µm × 0,5 µm) qui se présente soit isolé soit en chaînettes. Ces bactéries sont Gram positif, mobiles à des températures comprises entre 20 et 25 °C, non sporulées, et peuvent survivre dans des conditions aéro-anaérobies facultatives. Elles sont généralement catalase positives, bien que certaines souches puissent présenter une catalase négative. Les *Listeria* hydrolysent l'esculine et sont négatives pour l'oxydase. En outre, elles fermentent de nombreux glucides sans produire de gaz ([Anses 2011](#)).

- Cinq gouttes des solutions mères (dilution 10⁻¹) sont disposées sur la gélose au sang et sont ensemencées à l'aide d'un râteau puis incubation à 37 °C durant 24 heures.
- Les colonies de *Listeria* se manifestent après 24 heures sous forme de petites colonies grises ou gris verdâtre brillantes d'environ un millimètre de diamètre, avec un halo

brun-noir autour. Après 48 heures, leur diamètre atteint environ 2 millimètres, les colonies s'incrudent dans le milieu de culture et présentent une dépression centrale ([Harizi 2009](#)).

2. Expérience 1

➤ Objectif

Détermination de la valeur nutritionnelle des aliments alternatifs proposer en vue de compléments alimentaires pour des chèvres élevées en mode extensif en calculant la digestibilité de la matière sèche des échantillons *in vitro* selon la méthode de [Tilley and Terry \(1963\)](#). Une technique d'incubation de petits échantillons (0,5 g) d'aliments séchés incubé avec la liqueur du rumen.

➤ Zone d'étude

La région de Guelma est connue comme étant une zone agricole, beaucoup d'éleveurs se basent exclusivement sur le mode extensif dans leurs élevages sans recourir à un apport de suppléments alimentaire pour leur troupeaux vue les moyens qu'ils disposent.

➤ Collecte et préparation des échantillons pour calcul de la digestibilité

➤ Traitement du matériel végétal

Les aliments soumis à l'étude sont composés de trois types de végétaux séchés à l'ombre pendant 8 jours et passés au tamis de 0,8 mm (voir Figure 3).



Figure 3 : Echantillons séchés (de gauche à droite : Azolla, Moringa, et Origan)

2.1. *Azolla pinnata*

Une quantité de la fougère nous a été expédié de la part d'une exploitation à Batna dont 1500 g ont été séchés naturellement à l'ombre pendant 8 jours (Figure 4). Cette quantité a donnée 73g de matière sèche, soit 4,8%.



Figure 4 : Vue de près de l'Azolla pinnata (Photos originaux)

2.2. *Moringa oleifera*

D'une exploitation pilote à Biskra dans la région de M'Lili, nous avons pu récolter 1300 g de feuilles sur leurs tiges (Figure 5). Cette quantité a été séchée naturellement pendant 8 jours, le poids de la matière sèche était de 570 g dont 138 g de tiges et 332 g de feuilles avec un pourcentage de 10,61% et 25,53%, respectivement, soit un rendement de 46,14% (p/p).



Figure 5 : Feuilles et tiges de *Moringa oleifera* pendant la procédure du séchage

(Photos originaux)



Figure 6 : Feuilles, tiges et arbre de *Moringa oleifera* (Photos originaux)

2.3. Origan (*Origanum vulgare L.*)

Une quantité de 500 g de la plante a été récoltée dans la région de Khezaras à Guelma, puis le séchage a été effectué pendant une durée de 8 jours à l'ombre, ce qui nous a permis d'obtenir une quantité de 344 g de matière sèche, soit un rendement de 68,8% (p/p).



Figure 7 : Feuilles et tiges d'Origan (Photos originaux)

➤ *Mode opératoire*

Nous avons opté pour la technique de fermentation *in vitro* mise au point par ([Tilley and Terry 1963](#)) améliorée en 1970 par ([Van Soest, Wine et al. 1966](#)), l'étude est mise sur une durée de 16 heures.

- Une quantité de 0,5 g (Poids initial : M_0) de chaque aliment en triplicate ont été mis dans des sacs fabriqués à base de papier wattman de porosité 43 μm bien celés figure 8
- 03 formulations d'aliments ont été réalisées :
 - Formule 1 : 40% Azolla, 40% Moringa, 20% origan.
 - Formule 2 : 40% Azolla, 20% Moringa, 40% origan.
 - Formule 3 : 20% Azolla, 40% Moringa, 40% origan.



Figure 8 : Préparation des échantillons d'aliments alternatifs

- La préparation de la solution tampon salivaire a été réalisée selon la composition mise au point par Mc Dougall en 1948 ([Dennison and Marais 1980](#)) (Tableau 2).

- Une concentration de 40/60 (ingrédients/eau, p/v) a été prise pour l'expérience qui s'est révélée la plus optimale pour les aliments concentrés.

Tableau 2 : Composition de diverses solutions tampons de salive artificielle de Mc Dougall 1948 ([Dennison and Marais 1980](#))

Pourcentage	0	25	50	75	100	125	150	175	200
NaHCO ₃	0	2,450	4,900	7,350	9,800	12,25	14,70	17,15	19,60
Na ₂ HPO ₄	0	0,925	1,185	2,775	3,700	4,625	5,550	6,480	7,400
KCl	0	1,143	0,285	0,428	0,570	0,713	0,855	0,998	1,140
NaCl	0	0,118	0,235	0,353	0,470	0,588	0,705	0,823	0,940
MgSO ₄ .7H ₂ O	0	0,030	0,060	0,090	0,120	0,150	0,180	0,210	0,240
CaCl ₂ .2H ₂ O	0	0,013	0,026	0,038	0,053	0,067	0,080	0,093	0,106

- La solution tampon salivaire a été préparée la veille de l'expérience et conservée dans un bain-marie à 39 °C (Figure 9).

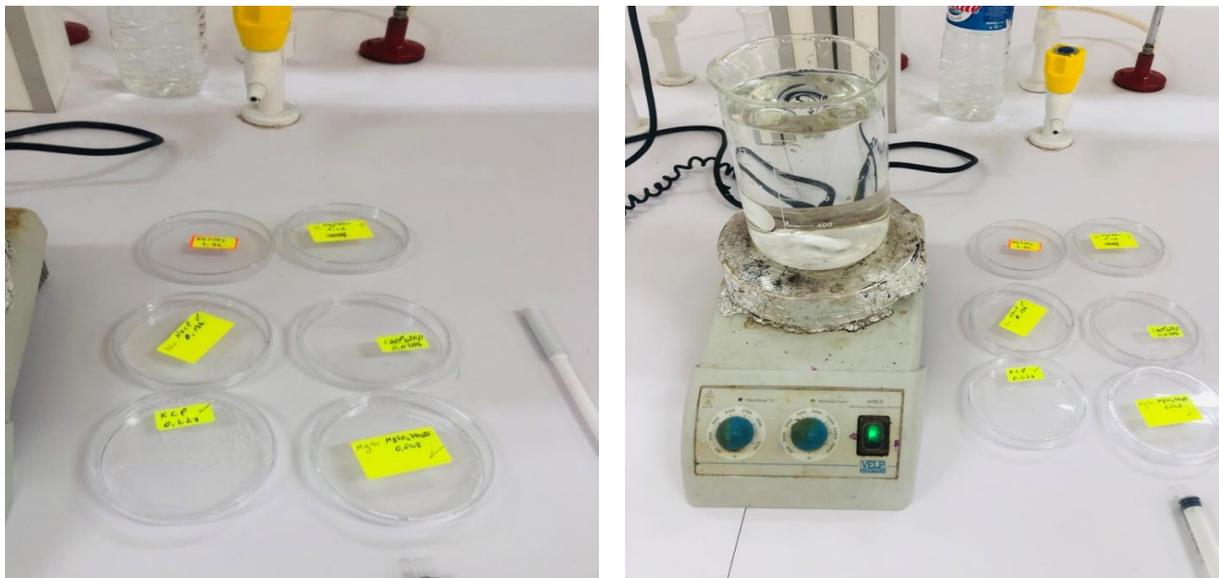


Figure 9 : Préparation de la solution tampon salivaire

- Le jour de l'expérience nous nous sommes rendus à l'abattoir de Guelma où nous avons collecté le contenu ruminal d'une chèvre juste abattue, le contenu a été pressé,

filtré et conservé dans une glacière remplie préalablement d'eau à une température de 39,5 °C (Figure 10).



Figure 10 : Collecte et conservation du liquide ruminal

- Arrivés au laboratoire de l'université, 150 ml de la solution tampon et 150 ml du liquide ruminal, avec 03 sacs de chaque échantillon, sont mis dans des flacons en verre à col à vis de 500 ml.
- Un flux de CO₂ est injecté dans les flacons pour maintenir un milieu anaérobie avant leur fermeture.
- Les flacons ont été placés en incubation à 39,5 °C dans une étuve pendant 16 heures (voir Figure 11).



Figure 11 : Incubation des échantillons pour mesurer de la digestibilité de la matière sèche

- Après 16 heures d'incubation, les échantillons ont été rincés abondamment à l'eau distillée et mis à sécher à 40 °C pendant 24 heures (Figure 12).

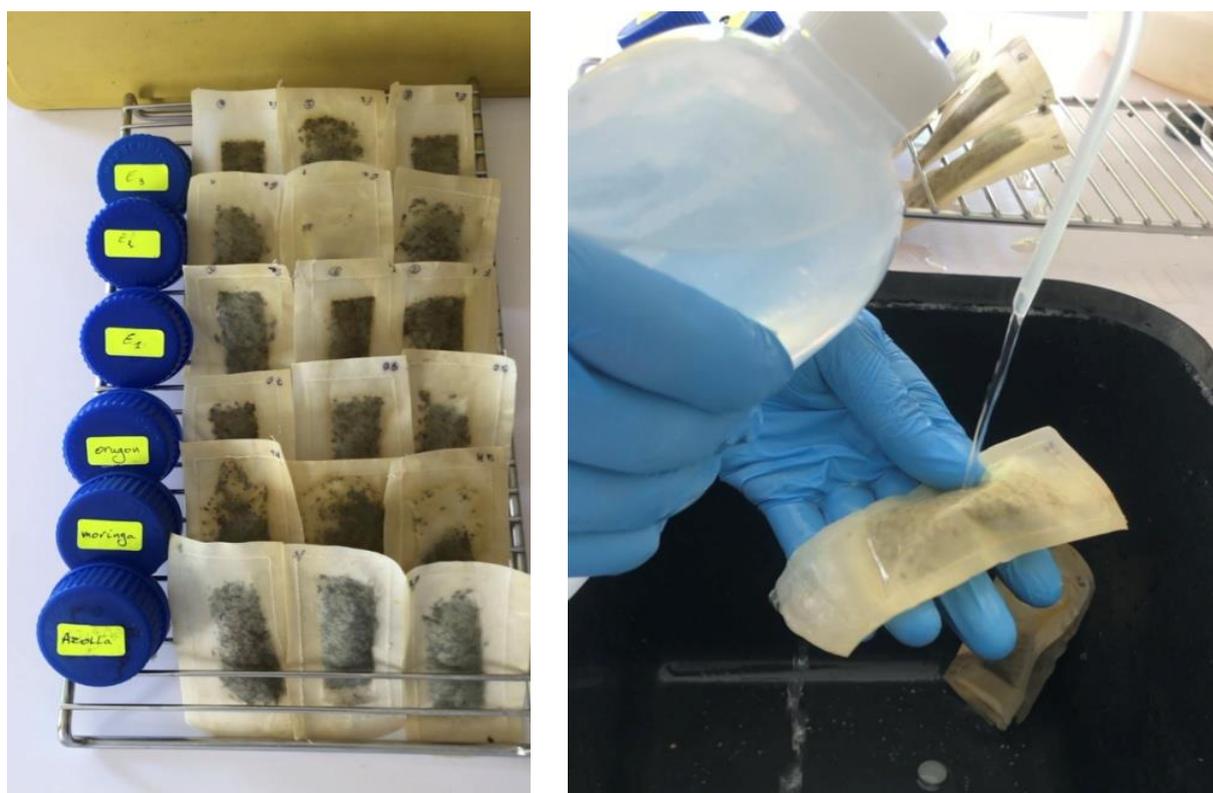


Figure 12 : Rinçage des sacs après incubation de 16 heures



Figure 13 : Mise au séchage des sacs de digestibilité

- 24 heures, après la mise en séchage, les échantillons ont été pesés sur une balance de précision et les résultats ont été calculés ([Van Soest and Robertson 1985](#)).

$$\text{DIVMS (\%)} = (P - R) / P \times 1000$$

DIVMS = pourcentage de digestibilité *in vitro* de la matière sèche.

P = poids de l'échantillon incubé,

R = poids de l'échantillon après incubation.

3. Expérience 2

➤ **Objectifs :**

La détermination de la rentabilité et à la productivité de l'Azolla dans un milieu dépourvu de nutriments.

Pour calculer la rentabilité de l'Azolla, une quantité de 350 g de la fougère a été cultivée dans un bassin de 1 m² construit sur une terrasse (Figure 14).

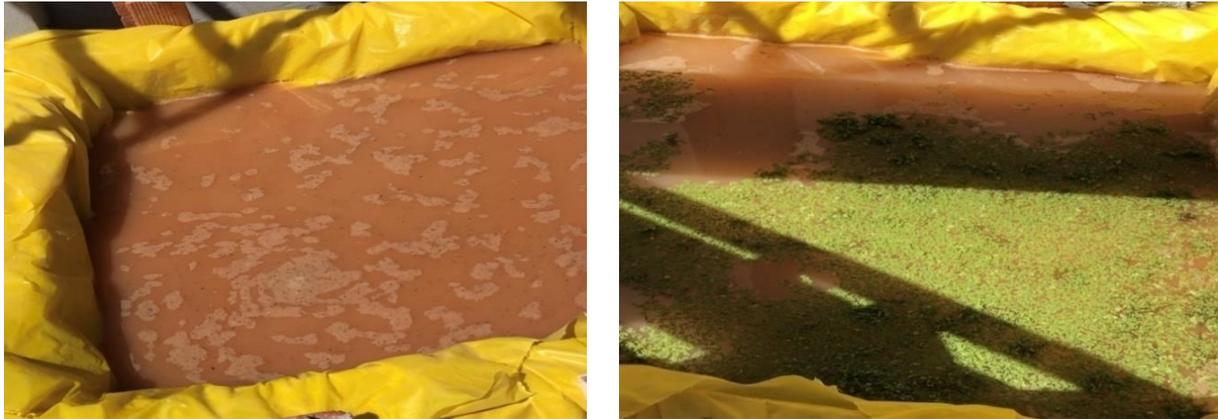


Figure 14 : Préparation et culture d'Azolla pinnata

- Une première récolte a été réalisée après 8 jours de culture.
- Une deuxième récolte a été effectuée le 16^{ème} jour, après brunissement complet de la fougère dans tout le bassin.
- Les quantités récoltées ont été égouttées et pesées.

4. Présentation des données et traitement statistique

Les résultats sont exprimés sous forme des moyennes \pm SD (*Standard Deviation* = Ecart type). Une analyse descriptive des données a été réalisée grâce au logiciel Minitab [Minitab, Ltb., United Kingdom (Version 16)].

Chapitre III

Résultats et discussions

1. Analyses physicochimiques

L'analyse des paramètres physicochimiques en laboratoire et sur *Lactoscan* des différents échantillons sont répertoriée dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Résultats d'analyse physicochimique (Lactoscan et laboratoire)

	Paramètres	Unité	Echan 1	Echan 2	Echan 3	Moyenne ± SD
F	Matière Grasse	%	05.55	05.36	05.56	05.49 ± 0,11
D	Densité	Kg/m3	1025.33	1025.08	1025.25	1025.22 ± 0,13
C	Conductivité	/	06.11	06.05	05.81	05.99 ± 0,16
SNF	Solide Non Gras	%	08.25	08.12	08.23	08.20 ± 0,07
P	Matière Protéique	%	02.21	02.21	02.20	02.20 ± 0,01
W	Eau Ajouter	%	00.00	00.00	00.00	00.00
L	Lactose	%	05.29	05.18	05.28	05.25 ± 0,06
T	Température	C°	24.1	24.9	19.1	22.7 ± 3,14
FP	Point de Congélation	C°	0.618	0.603	0.617	0.612 ± 0,01
S	Sels	g/l	0.71	0.70	0.71	0.70 ± 0,01
pH	/	/	6.76	6.77	7.09	6.87 ± 0,19
D°	Acidité Dornic	D°	33	30	35	32 ,66 ± 2,52
EST	Extrait sec totale	g/l	70	80	80	76,66 ± 5,77

Pour faciliter l'interprétation des résultats, nos données ont été comparées aux données et aux normes rapportées dans la littérature (Tableau 4).

Tableau 4 : Normes d'analyses physicochimiques

Analyses	Unité	Normes	Références
pH	/	6,45 - 6,90	(Remeuf, Lenoir et al. 1989)
Densité	g/l	1025 - 1038	(Devendra and Burns 1983)
Solide Non Gras	g/l	98,4 - 103	(LAHRECH 2019)
Lactose	g/l	40 - 45	(Cirad 2002)
Matière Grasse	g/l	60 - 65 26,4 - 77,8	(Cirad 2002) (Devendra and Burns 1983)
Matière Protéique	g/l	27,9 - 58,0	(Devendra and Burns 1983)
Acidité	D°	20,4 ± 0,52	(Arroum, Zmouli et al. 2016)
Extrait sec total	g/l	107,83 ± 2,809	(Sbouï, Arroum et al. 2016)

➤ *pH*

Le pH du lait de chèvre, évalué à 6,55, se situe dans la plage de pH de 6,45 à 6,90 définie rapportée dans la littérature ([Remeuf, Lenoir et al. 1989](#)). D'après (Mathieu, 1998), le pH du lait varie d'une espèce à l'autre et est influencé, pour une espèce donnée, par la concentration de certains composants tels que les phosphates, les citrates et les caséines.

➤ *Densité*

La densité moyenne mesurée (1 025) a été légèrement inférieure aux valeurs rapportées par [Devendra and Burns \(1983\)](#) et [Lupien \(1998\)](#) (1 027 à 1 035). L'analyse de la densité indique que nos échantillons ont des faibles quantités de solutés par rapport à la composante principale du lait qui est l'eau. Ces quantités de solutés n'ont pas eu d'impact sur la densité du lait car celle-ci dépend directement de la teneur en matière sèche. La variation de densité du lait est associée à la fréquence d'abreuvement, qui peut influencer ce paramètre directement ([SIBOUKEUR 2007](#)). [Alais \(1975\)](#) a noté que la faible densité reflète la richesse en matière grasse du lait. Dans le même sens, [Fredot \(2012\)](#) a confirmé que la densité du lait est influencée par sa teneur en matière grasse.

➤ *Matière sèche non grasse*

Selon les constatations de ([Mathieu 1998](#)) pour garantir l'intégrité du lait, la quantité de matière sèche dégraissée ne doit pas descendre en dessous de 85 g/l. Une mesure inférieure à cette norme suggère une possible dilution du produit. Notre analyse des échantillons a révélée une moyenne de matière sèche dégraissée de 8,2% (p/v), équivalant à 82 g/l. Cette valeur est nettement inférieure à celles observées par [LAHRECH \(2019\)](#), qui atteignaient 98,4 g/l, et

par [Kouniba, Berrada et al. \(2007\)](#), qui enregistraient 103 g/l pour une race caprine locale au Maroc.

➤ **Matières grasses**

La quantité de matière grasse mesurée, qui se situe entre 53,6 et 55,5 g/l, dépasse largement celle mentionnée par [Grappin, Jeunet et al. \(1981\)](#), qui ont enregistré un taux butyreux d'environ 37,5 g/l, mais reste inférieure à celle annoncée par [Cirad \(2002\)](#) (60- 65 g/l). Cette différence est probablement due à la qualité du pâturage, stade de lactation et l'état sanitaire de l'animal.

➤ **Matières protéiques**

La concentration en protéines des laits analysés était plus basse que le seuil minimal relevé par [Devendra and Burns \(1983\)](#). Les niveaux de protéines varient selon le stade de lactation ; les deux premiers mois de lactation sont marqués par une baisse des concentrations en protéines et en matière grasse du lait, ces dernières atteignent un niveau minimum correspondant au pic de lactation, puis reviennent à des valeurs comparables à celles du début en fin de lactation. L'écart remarquable entre les taux de matières grasses et matières protéiques ne peut être expliqué que par la pauvreté de matière azotée dans la végétation pâturée par les animaux.

➤ **Lactose**

Les niveaux de lactose fluctuent entre 51,8 et 52,9 g/l, une plage similaire à celle rapportée par [LAHRECH 2019](#) pour la race Arbia, qui était de 52,1 g/l. [Hoden, Coulon et al. \(1985\)](#), ont observé des augmentations des différents composants du lait lorsque les animaux sont nourris au foin ou à l'ensilage d'herbe. Cette observation explique pourquoi, pendant la saison de pâturage, qui correspond à notre période d'étude, les niveaux de lactose dans le lait sont influencés par les variations saisonnières, notamment l'abondance d'herbe dans les pâturages.

➤ **Acidité titrable**

L'acidité dans les trois échantillons analysés (33 D°, 30 D° et 35 D°) s'est avérée considérablement plus élevée que les chiffres rapportés par d'autres chercheurs, avec des valeurs de 15 à 23 D° ([El-Hatmi 2005](#)) et ([Arroum, Zmouli et al. 2016](#)) avec une moyenne de 20,4 D°. Cette disparité pourrait être attribuée à la consommation de plantes halophytes dans les zones de pâturage.

➤ *Extrait sec total*

La teneur en matière sèche totale du lait de chèvre des 3 élevages a été respectivement de (70,80,80 g/l), une teneur faible selon [Sboui, Arroum et al. \(2016\)](#) ($107,83 \pm 2,809$ g/l) et [Raynal-Ljutovac, Lagriffoul et al. \(2008\)](#) (116 g/l). Cette faible teneur est du probablement à la faible teneur en matières protéiques.

2. *Analyses bactériologiques*

Les colonies bactériennes ont été comptées sur divers milieux de culture, et les résultats sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Résultats des analyses bactériologiques de lait (UFC/ml)

	Echan 1	Echan 2	Echan 3	Norme (*)	
				m	M
Flore aérobie mésophile totale	15.10 ²	1250	1080	3.10 ⁵	3.10 ⁶
<i>Staphylocoques</i>	Abs	Abs	Abs	10 ²	10 ³
Coliformes thermo tolérant	Abs	Abs	Abs	5.10 ²	5.10 ³
<i>Salmonelles</i>	Abs	Abs	Abs	Absence dans 25 g	
<i>Listeria</i>	Abs	Abs	Abs	100	

(*) : JORA N° 39 du 2 juillet 2017

L'analyse des résultats repose sur les normes établies pour les critères microbiologiques des denrées alimentaires publiées dans le Journal Officiel de la République Algérienne 2017.

Les résultats du comptage des bactéries aérobies mésophile totale, des *Staphylocoques*, des coliformes aérobies et fécaux, des *Salmonelles* et de *Listeria* sont conformes aux normes. Ainsi, d'un point de vue bactériologique, ainsi, il est possible d'affirmer que ces échantillons sont de bonne qualité bactériologique.

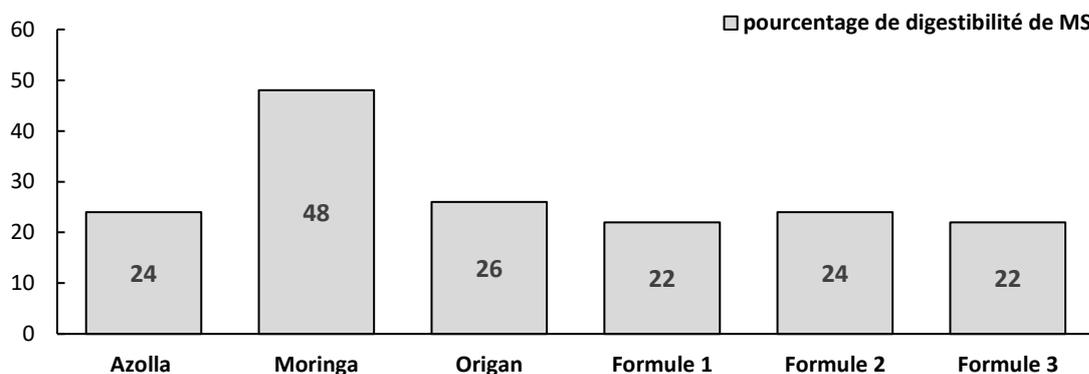
3. *Expérience 1*

Les résultats de l'expérience de détermination de digestibilité de matière sèche des aliments mis en étude son rapporter dans le tableau si déçu.

Tableau 6 : Résultats de la matière sèche après incubation

	Azolla	Moringa	Origan	Formule 1	Formule 2	Formule 3
Répétition 1	0,38	0,25	0,35	0,39	0,37	0,38
Répétition 2	0,38	0,26	0,37	0,37	0,39	0,40
Répétition 3	0,38	0,28	0,40	0,40	0,39	0,39
Moyenne	0,38	0,26	0,37	0,39	0,38	0,39
%	24	48	26	22	24	22

Ces résultats représentent la quantité de matière sèche non digérée par les micros organismes présent dans le liquide ruminal collecté. Parmi les substrats examinés, les taux de digestibilité les plus élevés étaient de 48%, 26% et 24% pour le Moringa, l'origan, l'Azolla et la formule 2, respectivement. Les formules 1 et 3 ont montré des taux de digestibilité similaires, ne différant pas de plus de 22%.

Pourcentage de digestibilité *in vitro* de la matière sèche**Figure 15** : Pourcentage de digestibilité *in vitro* de la matière sèche

On comparant nos résultats de dégradabilité de la matière sèche de nos échantillons contre d'autres études ; 72,27% pour l'Azolla trouvée par [Ahirwar and Leela \(2012\)](#), l'écart est prononcé, et il est probablement dû au choix de notre matière de sacro qui sont de porosité beaucoup plus inférieure que ceux utilisés dans d'autres études 43µm contre 46 µm ([Fall 1991](#))

et 70 μm (Mahmood, Samli et al. 2022). Pour étudier l'influence d'introduction des feuilles et de tourteaux de graines de Moringa dans une formulation alimentaire sans autant calculé leur dégradabilité, ainsi, il s'est parvenu à conclure que l'ajout de 3,8% de tourteau de graines de Moringa dans l'alimentation a modifié les caractéristiques de la fermentation ruminal, ce qui a entraîné une augmentation de NH_3 , favorisant la production de propionate et atténuant le NH_4 sans aucun effet négatif sur la disparition des nutriments et les paramètres physicochimiques *in vitro*.

4. Expérience 2

Le 7^{ème} jour, les racines de l'Azolla avaient poussé et le bassin était saturé (figure 16). Nous avons alors récolté le tiers du bassin, le poids après égouttage étant de 827 g.



Figure 16 : Racine de l'*Azolla pinnata*

Le 16^{ème} jour, l'Azolla a cessé de se reproduire (figure 17) et la totalité du bassin a fourni, après égouttage, un poids de 1353 g.

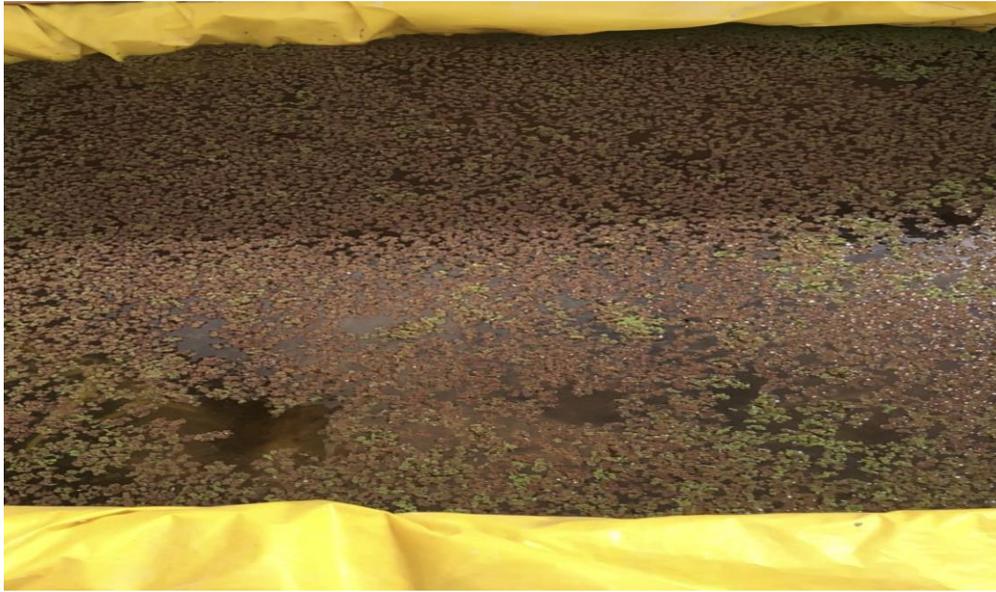


Figure 17 : Brunissement de l'Azolla et arrêt de développement

- La quantité totale récoltée était de 2180 g. En déduisant la quantité initiale (350 g), nous avons obtenu un gain de 1830 g, soit une moyenne de 114 g/jour sur les 16 jours de culture.

Sur une surface de 1 m², la production quotidienne d'Azolla a atteint 114g. Cette production peut être augmentée en procédant à la technique habituelle de culture, qui inclut l'ajout de fertilisants tels que la bouse de vache et le respect des facteurs d'exigence ([RAHAGARISON 2005](#)).

Après avoir surveillé le rendement, nous avons observé que l'Azolla a eu une forte capacité de multiplication durant les 8 premiers jours. Plus le temps passe, plus sa vitesse de croissance augmente. Cela confirme l'un des avantages de l'Azolla, comme mentionné précédemment ([Kumar and Chander 2017](#)).

Après cette période, l'Azolla a fini par cesser de se multiplier en raison de la rareté de nutriments dans le bassin. Il convient de noter que le taux élevé de croissance de cette fougère peut contribuer à fournir une source protéique peu coûteuse et facile à obtenir.

Conclusion

Face aux défis climatiques, amplifiés par la croissance démographique, l'urbanisation, la réduction des ressources pastorales, la dégradation des terres et les changements dans l'utilisation et la couverture des terres, il est primordial de revoir les stratégies et les pratiques de l'alimentation animale. Ainsi, les aliments alternatifs produits à partir de ressources locales et les coproduits de l'industrie agroalimentaire semblent être une bonne option.

Cette étude a mis en évidence l'influence de l'alimentation sur la composition du lait de chèvre élevée en système extensif dans la région de Annaba (commune Cheurf). L'analyse a révélé un faible taux de matière sèche et de protéines.

Une formulation à base de trois végétaux - l'Azolla, le Moringa et l'Origan - offrant des bénéfices notables à la fois sur le plan nutritionnel et environnemental, a donné des résultats encourageants sur la digestibilité lors des tests *in vitro*.

L'Azolla, grâce à sa richesse en protéines et à sa capacité à fixer l'azote atmosphérique, constitue une source économique et écologique de protéines pour les ruminants. Le Moringa, riche en protéines, vitamines et minéraux essentiels, présente également des avantages significatifs. Son inclusion dans les rations animales a été associée à une amélioration de la croissance et de la qualité du lait. Quant à l'Origan, ses propriétés antimicrobiennes et anti oxydantes contribuent à une meilleure santé digestive des ruminants.

La combinaison d'Azolla, de Moringa et d'Origan que nous avons formulée peut offrir une ration équilibrée et riche en nutriments essentiels, contribuant ainsi à améliorer la santé animale et à augmenter la teneur en protéines du lait. Cette approche présente l'avantage supplémentaire d'être à la fois économique et écologique, car ces plantes peuvent être cultivées localement, réduisant ainsi les coûts de production et l'empreinte carbone, tout en garantissant un approvisionnement en fourrage stable toute l'année.

L'adoption d'une alimentation alternative comprenant l'Azolla, le Moringa et l'Origan représente une stratégie innovante et durable qui peut contribuer à améliorer la nutrition des ruminants. Cette approche répond efficacement aux défis liés au faible taux de protéines dans le lait des chèvres élevées en système extensif, tout en offrant des avantages économiques et environnementaux significatifs, alignés sur les objectifs de production durable.

Perspectives futures et recommandations pratiques

Les résultats encourageants issus de notre étude sur l'intégration d'Azolla, de Moringa et d'Origan dans l'alimentation des chèvres ouvrent la voie à de nombreuses perspectives de recherche futures. Pour approfondir et élargir cette investigation, il est crucial d'explorer d'autres paramètres au-delà de la matière sèche, en utilisant des analyses *in vitro* et *in vivo*:

1. Étude de la digestibilité des nutriments :
 - Évaluer la digestibilité des protéines, des fibres et d'autres nutriments essentiels présents dans la combinaison d'Azolla, de Moringa et d'Origan. Cette analyse permettra d'approfondir notre compréhension de l'efficacité de l'absorption des nutriments par les chèvres.
2. Évaluation des effets sur la production laitière :
 - Mesurer les variations de la production laitière en termes de volume et de composition (protéines, matières grasses, lactose, etc.). Ces données seront essentielles pour quantifier l'impact direct de la nouvelle ration sur la productivité laitière.
3. Évaluation économique de l'aliment alternatif :
 - Évaluer le coût de production de l'aliment alternatif permettra de procéder à une comparaison juste par rapport à l'utilisation de l'aliment conventionnel, souvent importé.
4. Évaluation environnemental de l'aliment alternatif :
 - Évaluer l'impact environnemental de l'aliment alternatif, via une mesure de l'empreinte carbone, ainsi, que le relargage de gaz a effets de serre.

Références

- Ahirwar, M. K. and V. Leela (2012). "Nutritive value and in vitro degradability of azolla pinnata for ruminants." Indian Veterinary Journal **89**: 101-102.
- Alais, C. (1975). Science du lait: principes des techniques laitières, Société d'édition et de publicité agricoles, industrielles et commerciales.
- Alalade, O. and E. Iyayi (2006). "Chemical composition and the feeding value of Azolla (Azolla pinnata) meal for egg-type chicks." International Journal of Poultry Science **5**(2): 137-141.
- Amare, E., F. Kebede, et al. (2018). "Wastewater treatment by Lemna minor and Azolla filiculoides in tropical semi-arid regions of Ethiopia." Ecological Engineering **120**: 464-473.
- Anses (2011). "Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail."
- Ariom, T. O., E. Dimon, et al. (2022) "Climate-Smart Agriculture in African Countries: A Review of Strategies and Impacts on Smallholder Farmers." Sustainability **14** DOI: 10.3390/su141811370.
- Arroum, S., K. Zmouli, et al. (2016). "Étude comparative des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques du lait caprin en fonction du mode d'élevage." The value chains of Mediterranean sheep and goat products. Organisation of the industry, marketing strategies, feeding and production systems. Zaragoza: CIHEAM: 429-433.
- Association française de normalisation (1993). Contrôle de la qualité des produits alimentaires: lait et produits laitiers: analyses physico-chimiques, AFNOR.
- Baumont, R. (1996). "Palatabilité et comportement alimentaire chez les ruminants." INRAE Productions Animales **9**(5): 349-358.
- Bendifallah, L., Y. Tchoulak, et al. (2015). "Phytochemical study and antimicrobial activity of Origanum vulgare L.(Lamiaceae) in boumerdes mountainous region (Algeria)." Journal of Medical and Bioengineering Vol **4**(6).
- Bhatt, N., R. Chandra, et al. (2020). "Nutritive analysis of Azolla pinnata and its cultivation during winter season." Int J Curr Microbiol App Sci **9**(3): 2012-2018.
- Blanc, F., F. Bocquier, et al. (2004). "Amélioration de l'autonomie alimentaire des élevages de ruminants: conséquences sur les fonctions de production et la longévité des femelles." Renc. Rech. Ruminants **11**: 155-162.
- Bonnefoy, C. (2002). Microbiologie et qualité dans les industries agroalimentaires, Wolters Kluwer France.
- Boudalia, S., S. Smeti, et al. (2024) "Alternative Approaches to Feeding Small Ruminants and Their Potential Benefits." Animals **14** DOI: 10.3390/ani14060904.
- Bourgeois, C. and J. Leveau (1980). "Analysis and quality control in the food and agricultural industries. III. Microbiological quality control."
- Christaki, E., I. Giannenas, et al. (2020). Chapter 2 - Innovative uses of aromatic plants as natural supplements in nutrition. Feed Additives. P. Florou-Paneri, E. Christaki and I. Giannenas, Academic Press: 19-34.
- Cirad, G. (2002). "Mémento de l'agronome." Paris: Ministère des Affaires Etrangères **15**.
- Cobellis, G., G. Acuti, et al. (2015). "Use of Rosmarinus officinalis in sheep diet formulations: Effects on ruminal fermentation, microbial numbers and in situ degradability." Small Ruminant Research **126**: 10-18.
- Cuddeford, D. (2013). 3 - Factors affecting feed intake. Equine Applied and Clinical Nutrition. R. J. Geor, P. A. Harris and M. Coenen, W.B. Saunders: 64-79.
- Dennison, C. and J. Marais (1980). "The influence of ruminant salivary buffer salts upon the in vitro microbial digestion of forages." Agroanimalia **12**(1): 1-6.
- Devendra, C. and M. Burns (1983). Goat production in the tropics, Commonwealth Agricultural Bureaux.

- El-Hatmi, H. (2005). "Effects of diet supplementation on camel milk during the whole lactation under Tunisian arid range conditions (vol 11, pg 147, 2004)." JOURNAL OF CAMEL PRACTICE AND RESEARCH **12**(1): 56-56.
- Fall, S. T. (1991). "Digestibilité in vitro et dégradabilité in situ dans le rumen de ligneux fourragers disponibles sur pâturages naturels au Sénégal. Premiers résultats." Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux **44**(3): 345-354.
- Ferreira-Anta, T., M. D. Torres, et al. (2024). "Ecofriendly cascade extraction of antioxidants from *Origanum vulgare*: Morphological and rheological behavior of microparticles formulations." Journal of Industrial and Engineering Chemistry.
- Foidl, N., H. Makkar, et al. (2001). "The Potenti Al Of Mori Nga Olei Fera For Agri Cultural And I Ndustri Al Uses."
- Foidl, N., H. Makkar, et al. (2001). "Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie." Actes du séminaire sur *Moringa oleifera* du 29.
- Fredot, E. (2012). Connaissance des aliments: bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, Éditions Tec & doc.
- Giger-Reverdin, S. and V. Berthelot (2023). "O26 Is feed efficiency estimated by different metrics a trait characterizing variability between dairy goats?" Actes de science animale **14**(4): 563.
- Giger-Reverdin, S. and H. W. Erhard (2023). "Among-goat variability in feeding behaviour and feed efficiency under diets differing in the percentage of concentrate." Small Ruminant Research **229**: 107152.
- Grappin, R., R. Jeunet, et al. (1981). "Étude des laits de chèvre. I. Teneur du lait de chèvre en matière grasse, matière azotée et fractions azotées." Le Lait **61**(603-604): 117-133.
- Guiraud, J.-P. and J.-P. Rosec (2004). Pratique des normes en microbiologie alimentaire, Afnor.
- Guiraud, J. (1998). "Microbiologie des principaux produits alimentaires." Microbiologie Alimentaire, Techniques de Laboratoire» Dunod, Paris.
- Han, X., T. Shen, et al. (2007). "Dietary polyphenols and their biological significance." International journal of molecular sciences **8**(9): 950-988.
- Harizi, K. (2009). "Research and identification of pathogenic bacteria 'Salmonella and Listeria' in food."
- Hoden, A., J. B. J. Coulon, et al. (1985). "Influence de l'alimentation sur la composition du lait. 3.- Effets des régimes alimentaires sur les taux butyreux et protéique." Bulletin Technique, Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires de Theix(62): 69-79.
- Joffin, C., J.-N. Joffin, et al. (2010). Microbiologie alimentaire, Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine.
- Kouniba, A., M. Berrada, et al. (2007). "Étude comparative de la composition chimique du lait de chèvre de la race locale Marocaine et la race alpine et évaluation de leur aptitude fromagère." Revue de médecine vétérinaire **158**(3): 152-160.
- Kumar, G. and H. Chander (2017). "Study on the Potential of *Azolla pinnata* as livestock Feed Supplement for climate Change adaptation and Mitigation." Asian J. Adv. Basic Sci **5**(2): 65-68.
- LAHRECH, A. (2019). Aptitudes fromagères du lait de chèvres locales" Makatia, Arabia, M'Zab et naine de Kabylie" étude des propriétés fonctionnelles des protéines laitières.
- Larpent, J.-P. and M. Larpent-Gourgaud (1997). "Mémento Technique de Microbiologie (3 éd.)" Lavoisier: Londres, New York, Paris.
- Letorme, P., A. M. Londono, et al. (2009). "Nutritional value of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* Lam. and *Salvinia molesta* Mitchell) in pigs." Animal Feed Science and Technology **149**(1-2): 135-148.
- Ličina, B. Z., O. D. Stefanović, et al. (2013). "Biological activities of the extracts from wild growing *Origanum vulgare* L." Food Control **33**(2): 498-504.
- Lupien, J. (1998). "Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine." Collection FAO. Alimentation et Nutrition.
- MADIGAN, M. T. (2005). Brock biology of microorganisms, 11th edn, SciELO Espana.

- Mahmood, M., H. E. Samli, et al. (2022). "Moringa oleifera and Propolis in Cattle Nutrition: Characterization of Metabolic Activities in the Rumen In Vitro." Metabolites **12**(12): 1237.
- Makkar, H. and K. Becker (1997). "Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the Moringa oleifera tree." The Journal of Agricultural Science **128**(3): 311-322.
- Makkar, H. a. and K. Becker (1996). "Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted Moringa oleifera leaves." Animal Feed Science and Technology **63**(1-4): 211-228.
- Mascoloti Spréa, R., C. Caleja, et al. (2022). "Comparative study on the phenolic composition and in vitro bioactivity of medicinal and aromatic plants from the Lamiaceae family." Food Research International **161**: 111875.
- Mathieu, J. (1998). Initiation à la physicochimie du lait.
- Maxin, G., P. Nozière, et al. (2019). "Appliquer les méthodes d'évaluation multicritère aux rations des ruminants : identification des critères à évaluer et des indicateurs à mesurer sur les aliments." INRAE Productions Animales **31**(3): 255-268.
- Mbora, A., G. Mundia, et al. (2004). "Combating nutrition with Moringa oleifera." World Agroforestry Centre, Nairobi, Kenya **200**.
- Meuret, M. (2005). "Ressources de parcours pour ruminants." Manuel de zootechnie comparée Nord-Sud, Paris, AUF-INRA: 293-304.
- Morton, J. F. (1991). "The horseradish tree, Moringa pterygosperma (Moringaceae)—a boon to arid lands?" Economic botany **45**: 318-333.
- Ngao, J., M. Bernard, et al. (2019). Les arbres comme fourrages alternatifs pour les ruminants. Croisons les regards #4 - Journée d'échanges du RMT AgroForesterieS, Paris, France.
- Olugbemi, T., S. Mutayoba, et al. (2010). "Effect of Moringa (Moringa oleifera) inclusion in cassava based diets fed to broiler chickens." International Journal of Poultry Science **9**(4): 363-367.
- Palada, M. and L. Chang (2003). "Suggested cultural practices for jute mallow." International Cooperator Guide **2**(14): 1-4.
- Petransxiene, D. and L. Lapiéd (1981). "Bacteriological quality of milk and milk products—analyses and tests."
- PPG I (2016). "A community-derived classification for extant lycophytes and ferns." Journal of systematics and evolution **54**(6): 563-603.
- RAHAGARISON, K. (2005). "Etude bibliographique de l'Azolla ou la «ramilamina» plante fertilisatrice d'Azote (N₂)»." Annales de la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo **5**: 14-20.
- Raja, W., P. Rathaur, et al. (2012). "Azolla: An aquatic pteridophyte with great potential." Int. J. Res. Biol. Sci **2**(2): 68-72.
- Ray, D. K., N. D. Mueller, et al. (2013). "Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050." PloS one **8**(6): e66428.
- Raynal-Ljutovac, K., G. Lagriffoul, et al. (2008). "Composition of goat and sheep milk products: An update." Small Ruminant Research **79**(1): 57-72.
- Remeuf, F., J. Lenoir, et al. (1989). "Etude des relations entre les caractéristiques physico-chimiques des laits de chèvre et leur aptitude à la coagulation par la présure." Le Lait **69**(6): 499-518.
- Richter, N., P. Siddhuraju, et al. (2003). "Evaluation of nutritional quality of moringa (Moringa oleifera Lam.) leaves as an alternative protein source for Nile tilapia (Oreochromis niloticus L.)." Aquaculture **217**(1-4): 599-611.
- Sahali, N., M. Sahnoune, et al. (2022). "L'ARTICULATION DE LA FILIÈRE LAIT LOCALE AU MARCHÉ MONDIAL DURANT LA DÉCENNIE 2010-2020." Marketing and business research review **2**(2): 78-94.
- Salehzadeh, A., A. S. Naeemi, et al. (2014). "Biodiesel production from Azolla filiculoides (water fern)." Tropical Journal of Pharmaceutical Research **13**(6): 957-960.
- Sánchez, N. R., S. Ledín, et al. (2006). "Biomass production and chemical composition of Moringa oleifera under different management regimes in Nicaragua." Agroforestry Systems **66**: 231-242.

- Sauvant, D., L. Delaby, et al. (2017). INRA feeding system for ruminants, Wageningen Academic Publishers.
- Sboui, A., S. Arroum, et al. (2016). "Effet du traitement thermique sur la composition physicochimique du lait de chèvre." Organization of the industry, marketing strategies, feeding and production systems. Zaragoza: CIHEAM **115**: 481-485.
- Shamna, T., P. Peethambaran, et al. (2013). "Broiler characteristics of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*) at different levels of diet substitution with *Azolla pinnata*."
- SIBOUKEUR, O. (2007). Etude du lait camelin collecté localement, INA.
- Tamisier, A. and O. Dehorter (1999). Camargue, canards et foulques: fonctionnement et devenir d'un prestigieux quartier d'hiver, Centre ornithologique du Gard.
- Tilley, J. and d. R. Terry (1963). "A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops." Grass and forage science **18**(2): 104-111.
- Van Soest, P., R. Wine, et al. (1966). "Estimation of the true digestibility of forages by the in vitro digestion of cell walls."
- Van Soest, P. J. and J. Robertson (1985). Analysis of forages and fibrous foods, Cornell University.
- Van Tien, D., J. Liang, et al. (2003). "Etude des facteurs de risque d'encéphalopathie spongiforme bovine pour les systèmes d'élevage des ruminants en régions tropicales." Revue Scientifique et Technique de l'OIE (France) **22**(1).

Annexes

ANNEXE I

Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires

1- Lait et produits laitiers

Catégories des denrées alimentaires	Micro-organismes/ métabolites	Plan d'échantillonnage		Limites microbiologiques (ufc (1)/g ou ufc/ml)	
		n	c	m	M
Lait cru	Germes aérobies à 30 °C	5	2	3.10 ⁵	3.10 ⁶
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10 ²	10 ³
	Coliformes thermotolérants	5	2	5.10 ²	5.10 ³
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 ml	
	Antibiotiques	1	—	Absence dans 1 ml	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Lait pasteurisé et autres produits laitiers liquides pasteurisés	Germes aérobies à 30 °C	5	2	10 ⁴	10 ⁵
	Enterobacteriaceae	5	0	10	
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 ml	
Lait UHT et lait stérilisé	Germes aérobies à 30 °C	5	0	10/0.1ml	
Lait en poudre et lactosérum en poudre	Enterobacteriaceae	5	2	10	10 ²
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10	10 ²
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
Fromages au lait cru	<i>Escherichia coli</i>	5	2	10 ⁴	10 ⁵
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10 ³	10 ⁴
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Fromages à base de lait ayant subi un traitement thermique moins fort que la pasteurisation et fromages affinés à base de lait ou de lactosérum pasteurisés ou ayant subi un traitement thermique plus fort que la pasteurisation	<i>Escherichia coli</i>	5	2	10 ²	10 ³
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10 ²	10 ³
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Fromages à pâte molle non affinés (fromages frais) à base de lait ou de lactosérum pasteurisés ou ayant subi un traitement thermique plus fort que la pasteurisation	<i>Escherichia coli</i>	5	2	10 ²	10 ³
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10	10 ²
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Crème au lait cru	<i>Escherichia coli</i>	5	2	10 ²	10 ³
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10 ³	10 ⁴
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	