

المملكة المغربية  
ROYAUME DU MAROC

INSTITUT AGRONOMIQUE  
ET VÉTÉRINAIRE HASSAN II



معهد الحسن الثاني  
للزراعة والبيطرة

**Projet de Fin d'Etudes présenté pour l'obtention du  
diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie  
Option : Ingénierie des Biotechnologies et Productions  
Animales**

**Contribution de l'élevage à l'instauration  
des principes d'une économie circulaire :  
cas des oasis de montagnes du Haut Atlas**

Présenté et soutenu publiquement par :

**M. TALEBI Abderrahim**

Devant le jury composé de :

Dr. EL MAADOUDI E.  
Pr. SRAÏRI M.T.  
Pr. BOUMAKRAT S.  
Pr. SEIF ENNASR M.

Président  
Rapporteur  
Examinatrice  
Examinatrice

INRA MAROC  
DPBA/ IAV Hassan II  
DPBA/ IAV Hassan II  
DRNE/ IAV Hassan II

**Septembre 2023**

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II-B.P. 6206 Madinat Al Irfane, 10101

RabatTel : (0 5) 37 77 17 58/5 9/45 ou 77 07 92 – Fax (0 5) 37 77 81 35 ou 77 58 38

Site Web: [www.iav.ac.ma](http://www.iav.ac.ma)

## **Dédicaces**

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

### **A mon père TALEBI MOHAMED**

Ma réussite a été, et est toujours, ta préoccupation constante, papa.

Tes conseils et tes prières m'ont toujours accompagné.

Je ne trouverai jamais assez de mots pour vous exprimer tout mon Amour, ma Gratitude et ma profonde Reconnaissance pour les sacrifices consentis.

Que Dieu le TOUT-PUISSANT t'accorde une longue vie afin que les efforts que tu as déployés pour ma réussite soient récompensés.

Un jour vous serez plus fiers de moi.

### **A ma mère NADIFI FATIMA**

Je n'oublierai jamais et pour toujours ce que tu as fait pour moi.

Tu t'es toujours préoccupée de mon avenir, tant de sacrifices, tant d'affection, un engagement sans limite, un amour sans égal.

Je ne pourrai jamais te remercier assez, que ce modeste travail soit le prélude à l'immense bonheur que je compte t'apporter.

### **A mes frères MEHDI, SAID, IKRAM**

Je vous souhaite beaucoup de succès dans la vie et que chacun de vous puisse réaliser ces ambitions.

### **A tous les membres de la famille TALEBI**

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de ma profonde affection. Je vous remercie pour le soutien et l'amour que vous me portez.

Je vous aime beaucoup.

A mes amis, **Ayoub, Alae, Moussab, Walid, Youssef, Mohammed, Marwane, Ilyass, Samira** et **Salah**, en témoignage de l'amitié sincère qui nous a liées et des bons moments passés ensemble.

## Remerciements

En ce moment crucial de mon parcours académique, il est de mon devoir d'exprimer ma profonde gratitude envers les personnes et les entités qui ont rendu la réalisation de ce travail de fin d'études possible.

Tout d'abord, mes remerciements les plus sincères vont à mon encadrant, le Professeur **Mohamed Taher Sraïri**. Sa direction éclairée a guidé chacune de mes étapes, depuis le début jusqu'à la finalisation de ce mémoire. Sa bienveillance, son suivi assidu, ses conseils éclairés ainsi que ses critiques constructives ont été des piliers essentiels de ce projet. Je suis honoré d'avoir pu bénéficier de ses vastes connaissances, de son esprit analytique aiguisé et de ses expériences de terrain, qui ont indéniablement enrichi ce travail.

Ma profonde reconnaissance va également aux membres de jury, dont la présence me procure un réel plaisir en acceptant d'accorder du temps et de l'effort pour juger ce travail.

A travers ce rapport, j'adresse mes remerciements et je témoigne ma reconnaissance aux agriculteurs et à la population locale de M'semrir, qui m'ont aidé et communiqué, sans réserve, des informations d'une extrême importance pour la rédaction de ce rapport.

Mes remerciements les plus distingués vont également au corps enseignant de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II et plus spécialement celui du **Département des Productions et Biotechnologies Animales (DPBA)**. Il m'est particulièrement agréable de vous exprimer ma vive gratitude et ma profonde reconnaissance pour toute l'aide, les connaissances, la compréhension et le courage que vous m'avez offert le long de ma formation. Merci.

Enfin, je remercie toute personne qui m'a aidé de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail. J'espère que ce travail soit un témoignage de ma gratitude et de ma reconnaissance pour vos encouragements et votre soutien.

## Résumé

La présente étude a pour objectif d'analyser la contribution de l'élevage à l'instauration des principes d'une économie circulaire dans les oasis de montagne du Haut Atlas central, une zone connaissant différentes mutations, principalement le stress hydrique et le réchauffement climatique, induisant plusieurs contraintes d'ordre agronomique, économique et social.

L'étude repose sur un échantillon de 35 exploitations agricoles, reflétant une diversité de situations, en quantifiant les flux interagissant entre les différentes phases de production, qu'elles soient animales ou végétales, tout au long de l'année.

L'élevage joue un rôle substantiel dans l'amélioration de la résilience des exploitations agricoles. L'analyse des flux de matières met en évidence que les fourrages contribuent à hauteur de 87,0 % aux Unités Fourragères Laitières (UFL) produites au sein de ces exploitations. Une autonomie fourragère moyenne de 47,0 % est enregistrée, avec son niveau étroitement lié à la Surface Agricole Utile (SAU) et à l'effectif du cheptel, ce qui réduit les besoins d'achat des aliments. Cette approche locale s'inscrit parfaitement dans le concept d'économie circulaire, en privilégiant les circuits courts et en minimisant les coûts liés au transport et l'empreinte carbone associée. L'évaluation du bilan énergétique montre que 71,9 % des besoins des animaux sont couverts par les aliments endogènes ; cette moyenne varie entre exploitations à élevage mobile sur parcours (13,0 %) et celle à élevage sédentaire (86,9 %). La quantité de fumier frais produite par Unité de Gros Bétail (UGB) est estimée à 2 921 kg/UGB pour les exploitations sédentaires. L'écart de triage du pommier est estimé à 1,5 kg par arbre.

A la lumière de ces résultats, 4 types d'exploitations ont été identifiées : i) Élevage sédentaire à haute productivité fourragère ; ii) Exploitation à rendement énergétique élevé et faible densité ; iii) Élevage transhumant avec compensation organique non collectée et dépendance alimentaire externe. ; iv) Élevage transhumant avec collecte du fumier et dépendance alimentaire externe. Ces types correspondent à la localisation géographique et aux atouts intrinsèques des exploitations agricoles.

**Mots-clés :** Élevage, économie circulaire, oasis de montagne, gestion durable, transhumance

## Abstract

The present study aims to analyze the contribution of livestock to the establishment of circular economy principles in the mountain oases of the Central High Atlas, area undergoing various transformations, primarily water stress and climate change, leading to several agronomic, economic, and social constraints. The study was conducted on a sample of 35 agricultural farms reflecting a diversity of situations by quantifying the flows between various phases of production, whether they are animal or plant-related, throughout the year.

Results have shown that livestock plays a substantial role in improving the resilience of agricultural farms. The analysis of material flows highlights that forages contribute to 87.0% of the net energy ingested by the animals. An average forage self-sufficiency of 47.0% is recorded, closely linked to the arable land area and livestock numbers, reducing the need for purchasing feed. Prioritizing local resources' uses aligns perfectly with the concept of a circular economy, favoring short supply chains and minimizing transportation costs and associated carbon footprint. The evaluation of the energy balance shows that 71.9% of animal needs are covered by cultivated fodder; this average value varies between farms with transhumant flocks (13.0%) and those with sedentary livestock (86.9%). The average quantity of fresh manure produced per Livestock Unit (LU) is estimated at 2,921 kg for sedentary farms. The apple tree pruning waste is estimated at 1.5 kg per tree.

In light of these results, four types of farms have been identified: i) High forage productivity sedentary farming; ii) High energy-efficient sedentary farming with low density; iii) Transhumant farming with uncollected organic compensation; and iv) Transhumant farming with manure collection. These types mainly correspond to the geographical location and intrinsic advantages of the agricultural farms.

**Keywords** : circular economy, livestock, sustainable management, mountain oases, transhumance

## Liste des figures

Figure 1. Circularité traditionnelles montrant les flux entre la production végétale et l'activité d'élevage.....	16
Figure 2. Interactions entre les trois pôles des systèmes de polyculture élevage .....	18
Figure 3. Oasis de Tagmout, Maroc .....	24
Figure 4. Carte de la région et découpage administratif de la région Drâa-Tafilalet .....	29
Figure 5. Localisation géographique des 35 exploitations .....	36
Figure 6. Vue de l'Herbe de Prairie.....	39
Figure 7. Pesage de la biomasse d'un quadrat de l'herbe à l'aide d'un peson numérique .....	39
Figure 8. Épandage de fumier dans une parcelle .....	40
Figure 9. Exposition de fumier à l'air libre.....	40
Figure 10. Pesée du fumier en sac .....	40
Figure 11. Répartition des UGB totales de l'échantillon par espèce .....	42
Figure 12. Répartition des UGB totales de l'échantillon étudié .....	43
Figure 13. Fumier produit en fonction des UGB Totales (sédentaires) .....	48
Figure 14. Autonomie fourragère en fonction des UGB totales .....	52
Figure 15. Autonomie fourragère en fonction de la SAU.....	52
Figure 16. Apport énergétique des aliments issus des exploitations sédentaires .....	56
Figure 17. Répartition des différents aliments achetés en fonction de leurs apports énergétiques totaux.....	57
Figure 18. Energie (UFL) achetée en fonction des effectifs d'UGB totales (cas de tous les élevages) .....	58
Figure 19. Energie (UFL) achetée en fonction des UGB totales (cas des élevages sédentaires uniquement) .....	59
Figure 20. Localisation géographique d'un Azib.....	61
Figure 21. Corrélation des variables sur le premier plan factoriel de l'ACP.....	66
Figure 22. Représentation graphique des 4 types sur les deux premiers axes factoriels .....	67

## Liste des tableaux

Tableau 1. Caractérisation des déjections animales en France (en kg par tonne de produit).....	21
Tableau 2. Récolte mondiale annuelle de cultures et de résidus de cultures en 1990.....	22
Tableau 3. Pluviométrie annuelle enregistrées dans les stations météorologiques (en mm) .....	30
Tableau 4. Superficie des cultures dans la commune M'semrir.....	32
Tableau 5. Répartition de la Superficie et de la SAU dans les deux communes .....	32
Tableau 6. Effectifs du cheptel dans la commune M'semrir.....	33
Tableau 7. Quantité de fumier produite (kg/UGB) .....	47
Tableau 8. Composition du fumier des ovins et production totale estimée .....	63
Tableau 9. Variables prises en considération dans l'ACP.....	65
Tableau 10. Valeurs propres et pourcentage de variance totale cumulée des 3 premières composantes.....	65

## Liste des abréviations

ACP	: Analyse en composantes principales
CMV	: Centre de Mise en Valeur
CT	: Commune Territoriale
FAO	: Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture
GES	: Gaz à Effet de Serre
INRA	: Institut National de la Recherche Agronomique
ORMVAO	: Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate
SAU	: Surface Agricole Utile
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
UFL	: Unités Fourragères Lait
UGB	: Unité de Gros Bétail
UZ	: Unité Zootechnique

# Sommaire

Introduction.....	8
Partie 1. Revue bibliographique.....	11
I. Introduction générale à l'économie circulaire .....	12
1. Définition et concept de l'économie circulaire .....	12
2. Les objectifs de l'économie circulaire .....	13
II. L'élevage dans le contexte de l'économie circulaire .....	13
1. Le rôle de l'élevage dans l'économie circulaire .....	13
2. Les bonnes pratiques de l'intégration de l'élevage dans l'économie circulaire .....	14
III. Système d'intégration cultures-élevage et flux de nutriments .....	15
1. Définitions et caractéristiques .....	15
2. Flux de nutriments dans les systèmes d'intégration culture-élevage .....	19
2.1. Fumier et méthodes de diminution des émissions de gaz à effet de serre.....	19
2.2. Produits et coproduits des cultures.....	22
2.3. Adventices.....	23
IV. Les oasis de montagne du Haut Atlas central et le changement climatique.....	23
1. Les oasis de montagne : description et défis environnementaux.....	23
2. Changement climatique et vulnérabilité des oasis de montagne .....	25
V. Conclusion.....	26
Partie 2. Monographie de la région d'étude.....	28
I. Situation géographique.....	29
II. Milieu naturel .....	30
1. Climat .....	30
2. Sols .....	30
3. Ressources en eaux.....	30

III. Contexte socio-économique .....	31
1. Population.....	31
2. Structures foncières .....	31
IV. Caractéristiques des systèmes de production .....	32
1. Production végétale .....	32
2. Production animale .....	33
Partie 3. Approche méthodologique.....	34
I. Objectifs de l'étude .....	35
II. Choix des exploitations .....	35
III. Collecte des données .....	36
1. Cultures fourragères .....	36
2. Produits et coproduits des cultures .....	37
3. Bois de taille .....	37
4. Fumier.....	37
IV. Traitement et analyses des données.....	37
1. Flux des matières .....	37
1.1. Luzerne.....	38
1.2. Herbe .....	38
1.3. Ecart de triage des pommes.....	39
1.4. Paille.....	39
1.5. Fumier .....	39
2. Autonomie fourragère.....	41
V. Identification de l'échantillon étudié.....	41
1. Caractéristiques structurelles des exploitations.....	41
2. Taille moyenne et structure du cheptel.....	42

3.	Paramètres descriptifs des exploitations agricoles .....	43
3.1.	Le pommier .....	43
3.2.	Les cultures fourragères .....	43
3.3.	Céréaliculture .....	44
3.4.	Maraîchage .....	44
VI.	Analyses statistiques .....	44
Partie 4. Résultats et discussion .....		45
I.	Flux de matières dans les exploitations .....	46
1.	Fumier .....	46
2.	Luzerne .....	49
3.	Végétation spontanée .....	50
3.1.	Prairie (Almou) .....	50
3.2.	Adventices .....	50
4.	Paille .....	50
5.	Ecart de triage de pomme .....	51
6.	Autonomie fourragère .....	51
7.	Bilan énergétique .....	54
8.	Contribution des ressources fourragères endogènes à l'apport énergétique .....	55
9.	Aliments achetés .....	57
10.	Les enclos de haute montagne .....	59
II.	Analyse en composantes principales .....	64
1.	Le choix du plan .....	65
2.	Les contributions des variables aux axes principaux .....	65
3.	Présentation et description des types .....	68
Conclusion .....		71

Références bibliographiques .....	75
Annexes.....	85

# **Introduction**

L'économie circulaire émerge comme une réponse cruciale aux défis contemporains en matière de durabilité et de préservation des ressources (Ramirez et *al.*, 2021). Au cœur de cette approche se trouve la nécessité de repenser radicalement les systèmes économiques et agricoles, en cherchant à minimiser les pertes de ressources et à maximiser leur utilisation efficace (Sauvé et *al.*, 2016). Dans ce contexte, le secteur de l'élevage joue un rôle central, en offrant des opportunités significatives pour l'instauration des principes de l'économie circulaire (O'Hara et *al.*, 2016). C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente étude, ayant pour objectif de caractériser et d'analyser la contribution spécifique de l'élevage à l'établissement de ces principes au sein d'un écosystème particulier : les oasis de montagne du Haut Atlas central. L'élevage constitue une activité ancestrale dans ces zones et une composante importante dans ce système et dans l'économie oasienne. Cette activité exploite à la fois les produits, co-produits et résidus générés par les cultures pratiquées dans des zones sédentaires, ainsi que les ressources pastorales utilisées par les élevages mobiles. L'altitude impose des conditions climatiques rigides, en particulier durant les périodes hivernales où le froid intense est une condition essentielle pour le succès de la culture d'arbres fruitiers à exigences de froid spécifiques, notamment le pommier qui domine actuellement les zones de montagne, Ces pommiers sont associés aux cultures fourragères, et dans une moindre mesure aux cultures céréalières et maraîchères (Luedeling et *al.*, 2009).

Les oasis de montagne, avec leur mélange unique de pratiques agricoles et d'écologie, sont confrontées à des enjeux cruciaux tels que le changement climatique (El Mokhtar et *al.*, 2022). Aussi, est-il impératif de comprendre comment l'économie circulaire peut non seulement renforcer la durabilité des systèmes agraires de cette région, mais aussi contribuer à leur résilience face à ces défis en évolution.

Pour cela, la présente étude a pour objectif de mener une étude détaillée des systèmes alimentaires des ruminants dans les oasis de montagne du Haut Atlas central. En analysant les flux de matières échangés entre l'élevage et les cultures tout au long de l'année, nous cherchons à évaluer comment ces systèmes fonctionnent en pratique et à quel point ils sont alignés sur les principes de l'économie circulaire. Cette analyse quantitative nous permettra de discuter de la viabilité et de la durabilité de ces systèmes agraires dans un contexte de plus en plus complexe.

La caractérisation des flux de matières inclura les fourrages cultivés, les coproduits et les résidus de cultures, les adventices les espèces pastorales spontanées ainsi que le fumier, tous étant des éléments essentiels à la dynamique entre l'élevage et les cultures. En considérant ces éléments comme des composantes interconnectées d'un système plus vaste, nous pouvons explorer comment ces interactions contribuent à la circularité des ressources et à la réduction du gaspillage.

# **Partie 1. Revue bibliographique**

# **I. Introduction générale à l'économie circulaire**

## **1. Définition et concept de l'économie circulaire**

Pendant de nombreuses années, l'exploitation de ressources non renouvelables a été la pierre angulaire du développement économique mondial. Depuis 1990, le taux d'extraction des ressources naturelles a augmenté de 113 %, ce qui a provoqué une surexploitation et une production massive de déchets (Duque-Acevedo et *al.*, 2020). Il est donc essentiel d'adopter des modèles de développement durable qui permettent d'augmenter la production alimentaire et énergétique tout en réduisant la consommation de combustibles fossiles, les émissions de gaz polluants et la production de déchets solides (Reilly, 2015). Au départ, l'économie circulaire a été conçue pour garantir la durabilité de la vie humaine face à la limitation des ressources terrestres disponibles. Elle est apparue comme une extension de l'écologie industrielle, qui se concentre sur les relations entre un système industriel et son environnement proche (Ramirez et *al.*, 2021).

L'économie circulaire a été définie par Oldfield et *al.* (2016) comme « le terme économique du concept de circularité écologique qui s'oppose au modèle économique linéaire ». Dans ce modèle les matières premières sont transformées en produits, qui sont utilisés pour créer de la valeur, tandis que la valeur résiduelle du produit est considérée comme un déchet et est éliminée (prendre, fabriquer et produire, consommer et jeter). En revanche, le concept de l'économie circulaire comprend trois activités économiques connues sous le nom de 3R : réutiliser, recycler et réduire les produits et matériaux existants. Ce qui était auparavant considéré comme un déchet ou un surplus devient une ressource qui est revalorisée (Aurez et *al.*, 2019).

La mise en œuvre de stratégies d'économie circulaire n'est pas sans défis. De nombreux systèmes d'économie linéaire qui fabriquent des produits bon marché en gros volumes devront changer radicalement pour permettre le recyclage des matériaux (Stahel, 2016). Même lorsque des processus linéaires sont adaptés au recyclage et à la réutilisation, les propriétés des déchets dictent comment ces stratégies d'économie circulaire peuvent être appliquées. Certains matériaux peuvent être recyclés un nombre limité de fois en raison d'une détérioration progressive du matériau (Reh, 2013).

L'économie circulaire appliquée à l'agriculture consiste en un système économique durable qui favorise la réduction, la réutilisation alternative, le recyclage et la récupération des matériaux utilisés dans les processus de production, de distribution et de consommation agricoles

(Collard, 2020). Ce modèle de développement durable opère à différents niveaux, de l'exploitation agricole individuelle aux parcs éco-industriels, dans le but de promouvoir une qualité environnementale, une prospérité économique et une équité sociale pour les générations actuelles et futures. Des nouveaux modèles commerciaux et des pratiques de consommation responsables sont nécessaires pour atteindre ces objectifs (Kirchherr et *al.*, 2017).

## **2. Les objectifs de l'économie circulaire**

L'économie circulaire vise à répondre aux défis de la demande croissante et de l'offre limitée de ressources, en particulier les substances critiques qui se raréfient déjà, en limitant l'utilisation des ressources et la production de déchets (Van Buren et *al.*, 2016). Cette stratégie permet d'améliorer la performance économique tout en réduisant l'impact environnemental de l'activité agricole (Velasco-Muñoz et *al.*, 2022). Les objectifs mondiaux ont pour priorité de produire plus de nourriture et d'énergie pour une population qui dépassera les 10 milliards de personnes d'ici 2050, tout en réduisant l'utilisation d'énergie fossile, les émissions de gaz polluants et en visant le zéro déchet solide (Duque-Acevedo et *al.*, 2020a). L'objectif de l'économie circulaire est de parvenir à une synergie entre l'économie, l'environnement et la société pour résoudre le problème majeur de l'utilisation non durable des ressources naturelles et les effets négatifs qui en résultent sur l'environnement et la santé humaine (Duque-Acevedo et *al.*, 2020b).

## **II. L'élevage dans le contexte de l'économie circulaire**

### **1. Le rôle de l'élevage dans l'économie circulaire**

L'industrie de l'élevage occupe une place prépondérante dans l'économie mondiale en fournissant une gamme variée de produits. Cependant, pour demeurer compétitive, cette industrie doit adopter un modèle d'économie circulaire afin de réduire au minimum les impacts néfastes et d'optimiser les avantages économiques et écologiques associés à l'élevage (Ramirez et *al.*, 2021). En effet, l'élevage intensif peut engendrer la pollution de l'eau et la perte de biodiversité (Dou et *al.*, 2018). Le bétail est élevé dans diverses régions du monde et joue un rôle vital dans l'équilibre économique et écologique des systèmes agricoles (Sraïri et *al.*, 2017). Bien qu'il nécessite une alimentation à base de cultures et de résidus de culture, le bétail valorise la production agricole (Ferraton et Touzard, 2009). Dans un modèle d'agriculture circulaire, le fumier issu des animaux contribue à la productivité des terres, tandis que les légumineuses participent à la fixation de l'azote (Ganry et Oliver, 2005).

La production animale est soumise aux variations saisonnières de l'herbe disponible dans les zones arides, ainsi qu'à la disponibilité des résidus de récolte des parcelles agricoles des zones semi-arides et subhumides (Eeswaran et *al.*, 2022). Le secteur de l'élevage est influencé par divers facteurs imprévisibles, notamment les conditions climatiques, la gestion alimentaire des animaux, la vente sur les marchés mondiaux et la volatilité des prix et la rareté des intrants agricoles (Thornton et *al.*, 2010). La gestion et le traitement des déchets et des sous-produits de faible valeur dans l'industrie de l'élevage sont devenus plus complexes et onéreux en raison des exigences accrues de la communauté et de la réglementation plus rigoureuse, ainsi que des coûts plus élevés liés aux investissements.

En somme, l'adoption d'un modèle d'économie circulaire dans l'industrie de l'élevage permettrait de minimiser les impacts négatifs sur l'environnement et de maximiser les avantages économiques et écologiques (O'Hara et *al.*, 2016).

## **2. Les bonnes pratiques de l'intégration de l'élevage dans l'économie circulaire**

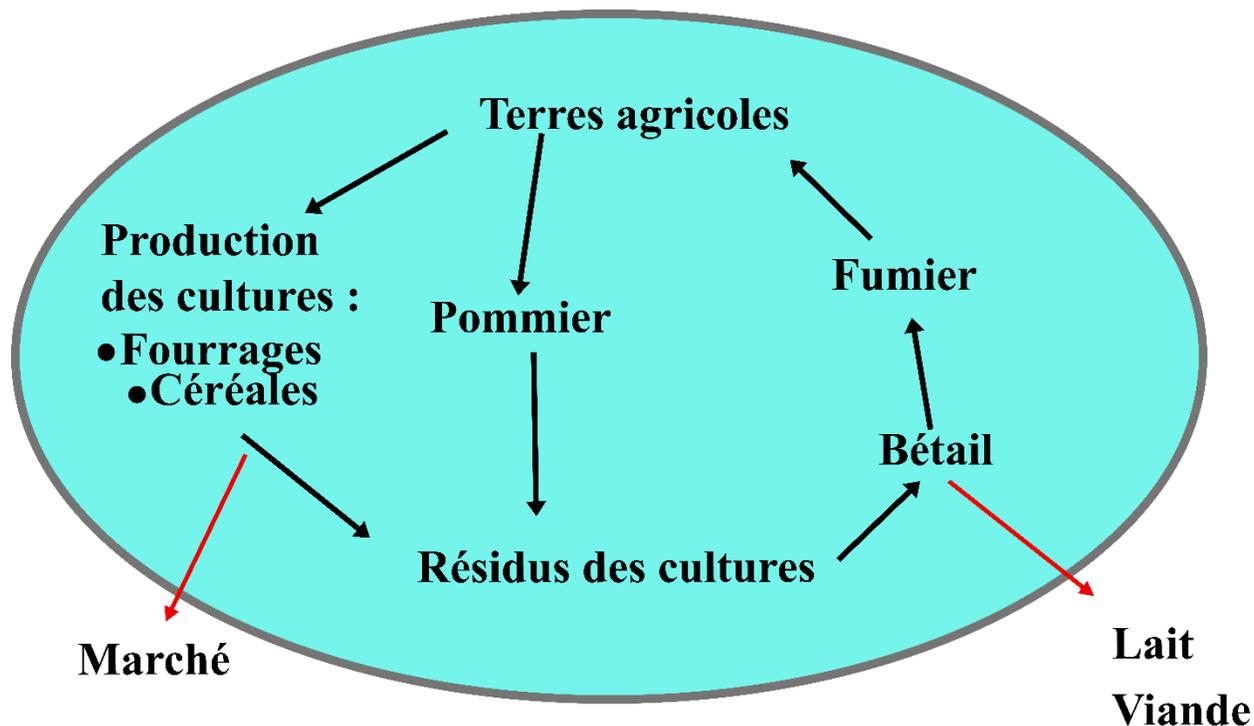
Selon des estimations de la FAO, la population mondiale atteindra 10 milliards d'habitants d'ici 2050 (FAO, 2018). Une augmentation de 70 % de la production agricole mondiale est nécessaire pour éviter une potentielle crise alimentaire mondiale ainsi que pour répondre aux besoins de la population mondiale d'ici 2050. Ceci implique inévitablement l'intensification des cultures, ce qui peut causer l'exportation de quantités importantes d'éléments nutritifs et la dégradation du sol, entraînant une baisse des rendements agricoles (Benouadah et *al.*, 2022). Cependant, cette intensification agricole est considérée comme l'un des facteurs contribuant à l'épuisement des sols et à la baisse des rendements des cultures car elle exporte de grandes quantités de nutriments (Sauvé et *al.*, 2016). Les agriculteurs adoptent une approche empirique en matière de lutte contre la dégradation des sols et de leur carence en éléments nutritifs pour les plantes. Ils se tournent vers l'agriculture biologique et utilisent des engrais complets à base d'engrais organiques et de conditionneurs pour compenser cette insuffisance en nutriments. Ces engrais jouent un rôle crucial dans l'amélioration et le maintien de la qualité et de la fertilité des sols (Benouadah et *al.*, 2020). Le fumier produit est utilisé comme engrais organique pour améliorer la structure des sols et fournir des nutriments pour les cultures en croissance. En retour, les résidus et coproduits des cultures sont utilisés pour nourrir les animaux (Sraïri et *al.*, 2017). L'épandage régulier de fumier, et en particulier de fumier solide, contribuent à augmenter la

capacité de rétention d'eau des sols et le recyclage des éléments nutritifs, et rend les cultures moins vulnérables aux conditions extrêmes telles que l'excès d'eau ou la sécheresse. Les agriculteurs doivent être en mesure d'expérimenter de nouvelles pratiques pour être certains de leur utilité et de leurs avantages. Les agriculteurs modèles (définis comme des précurseurs) pourraient être utiles pour motiver et influencer leurs collègues à adopter ces nouvelles pratiques (Termeer, 2019).

### **III. Système d'intégration cultures-élevage et flux de nutriments**

#### **1. Définitions et caractéristiques**

Le terme « Intégration cultures-élevage » se réfère à la combinaison de l'agriculture et de l'élevage dans un cadre organisé, généralement au niveau de l'exploitation agricole, bien que cette association puisse également être envisagée à l'échelle territoriale (Keulen et Schiere, 2004). Il s'agit d'un ensemble de pratiques agricoles qui visent à poser les bases de l'agroécologie en exploitant de manière délibérée les synergies fonctionnelles et biologiques qui résultent de l'interaction entre les éléments végétaux et animaux (Carvalho et *al.*, 2018). C'est considéré comme un levier prometteur pour accroître la durabilité des systèmes de production agricoles. Cette approche offre des avantages tels qu'une gestion optimale des flux de nutriments et d'énergie, ce qui permet d'améliorer l'efficacité des systèmes, comme l'a souligné Moraine (2015). Seré et *al.* (1996) ont proposé la définition la plus couramment utilisée pour les systèmes de polyculture-élevage, selon laquelle ces exploitations sont des systèmes d'élevage qui utilisent au moins 10 % de la matière sèche pour l'alimentation animale à partir de coproduits végétaux de l'exploitation, et où plus de 10 % de la valeur des produits proviennent d'activités non liées à l'élevage.



**Figure 1. Circularité traditionnelle montrant les flux entre la production végétale et l'activité d'élevage**

Dans les systèmes de production agricole, les animaux d'élevage jouent un rôle crucial en permettant la valorisation des produits végétaux impropres à la consommation humaine, tels que les coproduits des cultures et les adventices. Ces produits peuvent ainsi être transformés en matières premières de grande valeur, telles que le fumier, contribuant ainsi à la circularité des nutriments au sein de l'exploitation. Il est largement reconnu que les interactions dans les systèmes polyculture-élevage sont essentielles pour réaliser une intégration efficace et atteindre les avantages escomptés de ces systèmes (Vilain, 2008). Selon Sumberg (2002), une alimentation insuffisante et déséquilibrée du bétail est considérée comme un obstacle majeur à sa productivité, et il est admis depuis longtemps qu'un bétail productif est la clé d'une intégration réussie. Cependant, les interactions entre les cultures et l'élevage dans les exploitations agricoles sont des manifestations d'un échange, qui sont déterminées par les contextes agro-écologiques et économiques ainsi que les circonstances personnelles et socio-économiques des producteurs. En d'autres termes, la forme et l'étendue de cet échange sont motivées par ces différents facteurs.

Sumberg (2003) affirme que l'intérêt initial pour l'agriculture mixte ou l'intégration des cultures et de l'élevage reposait non seulement sur sa capacité apparente à répondre à des préoccupations environnementales telles que la déforestation, l'érosion des sols et le surpâturage, mais également sur l'idée que les petites exploitations mixtes, détenues et gérées individuellement, seraient des modèles idéaux pour la réorganisation et la rationalisation de l'espace rural.

D'après Sumberg (2003), les systèmes mixtes peuvent être caractérisés par plusieurs dimensions :

- l'espace, puisque l'intégration des activités de production dans les systèmes mixtes nécessite une proximité géographique, étant donné que certaines interactions biophysiques entre les cultures et l'élevage exigent une intégration étroite dans l'espace de travail ;
- le temps, car les activités de production dans les systèmes mixtes peuvent être menées simultanément, en parallèle ou séparément dans le temps en séquence. La dimension temporelle ne devient pertinente que lorsque le niveau d'intégration spatiale est atteint, et elle prépare le terrain pour les interactions entre les ateliers et la réalisation d'échanges bénéfiques. L'importance de l'échelle temporelle est liée à l'impact de la saisonnalité sur la disponibilité des aliments et de l'eau ;
- la propriété, qui est un concept qui stipule que toute combinaison de culture et d'élevage doit être détenue par un individu unique (ou un groupe d'individus), de sorte que l'accès, le contrôle et le pouvoir de décision relatifs aux différentes composantes soient concentrés chez cette personne ou ce groupe. La propriété de toutes les activités du système confère une plus grande propension à l'intégration du système ;
- la gestion, à savoir une dimension qui repose sur la préconisation selon laquelle la nature de la gestion des ateliers peut influencer positivement ou négativement sur l'intégralité du système de production. Un système doté d'une gestion cohérente et intégrée peut accroître les opportunités d'interaction entre les cultures et l'élevage ou en améliorer l'efficacité.

La mise en place d'un système intégré de production cultures-élevage peut conduire à une meilleure gestion des flux de matière au sein du système. En effet, l'intégration des cultures et de l'élevage permet d'optimiser l'utilisation des ressources, d'améliorer la productivité et de réduire les pertes en nutriments ou en biomasse (Bascou, 2010). L'intégration des activités de production

peut également favoriser la mise en place de pratiques agricoles durables en garantissant un recyclage efficace des éléments nutritifs et la préservation des sols. En somme, l'intégration cultures-élevage est une approche qui peut contribuer à une gestion plus efficace et durable des flux de matière dans les systèmes de production (Dedieu et *al.*, 2011).

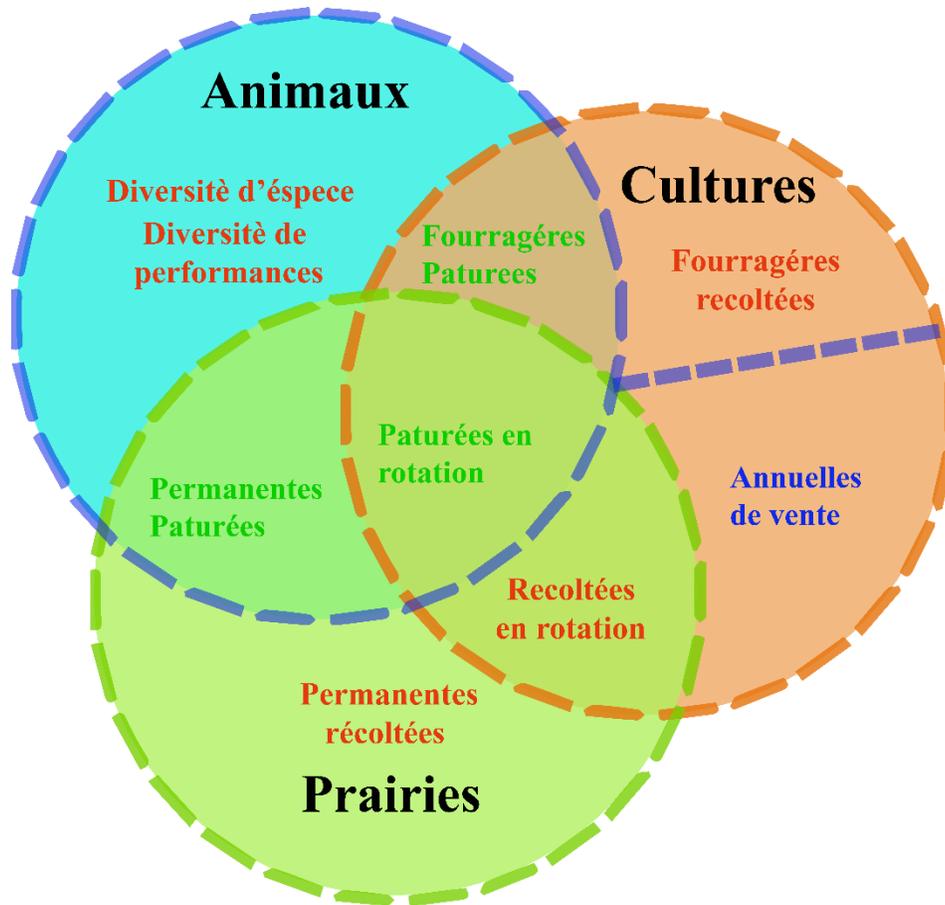


Figure 2. Interactions entre les trois pôles des systèmes de polyculture élevage (Moraine, 2012)

Les systèmes de production mixtes comprennent une complexité que le peu d'études réalisées n'a pas encore totalement élucidée. Il existe de nombreuses formes d'exploitations mixtes qui peuvent être classifiées selon l'existence ou pas d'interactions. De l'absence de l'intégration où on parle d'une simple association de plusieurs activités, jusqu'à la pleine intégration suivant

diverses natures d'interactions des ateliers du système. En effet, nombreux ceux qui ont proposé une classification des dimensions suivant lesquelles l'intégration peut avoir lieu dans une exploitation mixte (Keulen et Schiere, 2004).

L'intégration de l'élevage dans l'agriculture présente des défis pour les agriculteurs cherchant à diversifier leur production. Ces défis comprennent la perte de connaissances en matière d'élevage, l'exigence de compétences à la fois en gestion de cultures et en gestion de l'élevage, et l'érosion de la diversité génétique animale (Hilimire, 2011). En plus dans les régions où le travail manuel joue un rôle prépondérant, la capacité à investir dans du matériel, ainsi que les opportunités de délégation ou de partage du travail, déterminent la faisabilité d'évoluer vers des méthodes de conduite d'élevage intégré. Cette situation implique que la gestion simultanée de cultures et d'animaux peut être plus complexe et nécessite un effort accru (Dedieu et *al.*, 2011). Un autre élément important à considérer est la main-d'œuvre, qui se divise en deux catégories distinctes : d'une part, la main-d'œuvre saisonnière pour les cultures, souvent fournie par des employés externes à la famille, contrairement à la main-d'œuvre familiale qui s'occupe du bétail. Cette séparation crée un clivage entre les tâches agricoles, accentuant les obstacles à la réintégration des producteurs dans le secteur agricole (Sraïri et Naqach, 2022).

## **2. Flux de nutriments dans les systèmes d'intégration culture-élevage**

### **2.1 Fumier et méthodes de diminution des émissions de gaz à effet de serre**

Le fumier est un sous-produit solide, semi-solide ou liquide (lisier) issu de l'élevage. Il résulte de la combinaison de matières fécales animales, d'urine, de litière (comme la paille et la sciure de bois), ainsi que d'autres substances liées à la production animale telles que les déchets alimentaires, le sol, les eaux de lavage, ainsi que les amendements physiques ou chimiques utilisés durant la manutention et le stockage du fumier (Sims et Maguire, 2005).

Le fumier animal est une source importante de matière organique pour le sol. Il contient des éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore et le potassium (Tableau 1), ainsi que des micronutriments en faible quantité, qui sont libérés par la minéralisation de la matière organique (Roy et Kashem, 2014). Contrairement aux engrais synthétiques, l'application de fumier contribue à améliorer plusieurs propriétés du sol. En effet, outre les nutriments qu'il apporte, le fumier fournit de la matière organique qui améliore la capacité de rétention d'eau, leur capacité à échanger des cations et leur teneur en carbone (Ndambi et *al.*, 2019). Ces avantages ne sont pas

garantis par les engrais synthétiques. En somme, l'utilisation de fumier peut contribuer à améliorer la structure du sol, la croissance des cultures et la productivité agricole.

La gestion efficace des émissions de gaz à effet de serre (GES) provenant des activités d'élevage est devenue une préoccupation majeure dans le contexte de l'économie circulaire et de la durabilité environnementale. Parmi les différentes stratégies envisagées pour réduire ces émissions, la réduction de la durée de stockage des effluents d'élevage se distingue comme une approche prometteuse. Lorsqu'on examine de près les conditions de stockage des effluents, il devient évident que les émissions de méthane (CH<sub>4</sub>) ne sont pas optimales dans ces environnements. Les températures relativement faibles et la présence de microorganismes non adaptés entraînent des cinétiques d'émission relativement faibles et constantes. Selon des études telles que celle menée par Pellerin et *al.* (2013), il a été constaté que la durée de stockage est le facteur déterminant des émissions cumulées de CH<sub>4</sub>. Ainsi, il est logique de considérer que les émissions de méthane sont proportionnelles à cette durée de stockage.

Outre la réduction de la durée de stockage, d'autres approches nutritionnelles ont été envisagées pour limiter les émissions de CH<sub>4</sub> et d'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) provenant des activités d'élevage. Une approche consiste à modifier la ration alimentaire des animaux pour réduire les émissions de CH<sub>4</sub> entérique. Cette modification impliquerait de favoriser les composants non méthanogènes des fourrages en augmentant leur teneur en sucres ou en tanins, comme le suggèrent Pellerin et *al.* (2013).

Cependant, certaines mesures ont été évaluées et écartées en raison de considérations plus larges sur la durabilité des systèmes d'élevage. Par exemple, l'augmentation du pourcentage d'aliments concentrés dans les rations a été rejetée en raison des compensations partielles entre les GES et des inquiétudes actuelles concernant la viabilité à long terme de systèmes basés sur une alimentation riche en concentrés pour les ruminants, comme l'ont souligné Doreau et *al.* (2017).

Parmi les mesures envisagées, l'incorporation d'aliments riches en lipides insaturés dans les rations se démarque comme l'option privilégiée. Des études, telles que celle menée par Klumpp et *al.* (2013), ont montré que l'incorporation de lipides insaturés provenant de graines de lin et de colza extrudées peut atténuer efficacement les émissions de GES, en particulier le méthane, sur le long terme.

En conclusion, la réduction des émissions de GES provenant des activités d'élevage est un défi crucial dans le contexte de l'économie circulaire et de la durabilité environnementale. Les

approches telles que la réduction de la durée de stockage des effluents et la modification des rations alimentaires montrent un potentiel prometteur pour atténuer ces émissions, tout en prenant en compte les considérations de durabilité à long terme des systèmes d'élevage. L'incorporation d'aliments riches en lipides insaturés émerge comme une stratégie efficace et durable pour réduire les émissions de GES à partir des activités d'élevage, tout en contribuant à l'objectif plus large de réduction de l'empreinte carbone de l'industrie agricole.

**Tableau 1. Caractérisation des déjections animales en France (en kg par tonne de produit)**

<b>Espèce</b>	<b>Produit</b>	<b>Matière Sèche</b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
<b>Bovin</b>	Fumier	130 - 260	3 - 4	1,8 - 4	4 - 15
	Urine	70 - 80	8 - 10	0,1	14 - 15
<b>Caprin</b>	Fumier	476	6,1	5,2	5,7
<b>Ovin</b>	Fumier	384	8,2	2,1	12,3
<b>Volaille</b>	Fumier	250 - 400	10 - 30	10	7

Source : Audouin (1991)

Pain et Menzi (2011) ont proposé une classification de différents types de fumier produits par le bétail logé. Selon eux, le fumier liquide est un terme général qui englobe tous les types de fumier qui s'écoulent par gravité et qui peuvent être transportés par drainage ou pompage. Le lisier, quant à lui, est composé des fèces et de l'urine des animaux logés, mélangées aux matériaux de litière et à l'eau pendant la gestion, ce qui produit un fumier liquide avec une teneur en matière sèche comprise entre environ 1 et 10 %. Le fumier solide, en revanche, ne peut pas être pompé mais peut être empilé en tas et possède une teneur en matière sèche supérieure à 10 %. Enfin, le fumier semi-solide est également issu du bétail logé, mais ne peut être ni pompé ni stocké en tas. La gestion du fumier comprend différentes étapes telles que la collecte, le stockage, le transport et l'épandage sur le sol, ainsi que le traitement éventuel. Il existe de nombreuses méthodes et technologies pour gérer efficacement le fumier, applicables à différents types d'environnements et de productions. Adopter des pratiques durables pour la gestion du fumier offre de nombreux avantages directs et indirects, tels que la promotion d'un environnement propre, la réduction de la pollution, la création d'emplois et la préservation de la biodiversité (Malomo et *al.*, 2018). Cependant, l'utilisation efficace des effluents d'élevage comme engrais dépend des méthodes de manipulation et de stockage du fumier, et de la synchronisation de la minéralisation de l'azote du fumier avec l'absorption par les cultures (Rufino et *al.*, 2006).

## 2.2 Produits et coproduits des cultures

Les activités agricoles liées à la production végétale engendrent une grande variété de résidus de culture et de coproduits, qui sont utilisés comme aliments pour les animaux d'élevage (Vilain, 2008). Cette catégorie inclut les pailles et les sons de céréales, les parties aériennes des légumineuses, les sous-produits de l'extraction du sucre (tels que la bagasse et les pulpes) ou du décorticage du riz, ainsi que certains résidus de taille d'arbres fruitiers. Les pratiques d'utilisation de ces sous-produits agricoles varient considérablement à l'échelle nationale et internationale en matière d'alimentation animale (Klein et *al.*, 2014).

Selon Smil (1999), les résidus de culture représentent plus de 50 % de la biomasse végétale produite à l'échelle mondiale (Tableau 2).

**Tableau 2. Récolte mondiale annuelle de cultures et de résidus de cultures en 1990**

(en millions de tonnes)

Cultures	Rendement en grains		Résidu (matière sèche)	Indice de récolte
	Poids frais	Matière sèche		
Céréales	1 900	1 670	2 500	0,40
Cultures sucrières	1 450	450	350	0,56
Racine, tubercules	650	130	200	0,40
Légumes	600	60	100	0,38
Fruits	400	60	100	0,38
Légumineuses	200	190	200	0,49
Cultures oléagineuses	150	110	100	0,52
Autres cultures	100	80	200	0,28
Total	5 450	2 750	3 750	0,42

Source : **Smil (1999)**

Les résidus issus de la production agricole sont des sources riches en fibres, principalement composés de cellulose qui représente de 30 à 50 % de la matière sèche, voire jusqu'à 60 % dans le cas des chaumes. L'hémicellulose constitue environ 25 à 30 % de la masse sèche des végétaux, tandis que la lignine ne représente que 10 à 20 % de cette masse, à l'exception des déchets de taille (Smil, 1999). En plus d'être utilisés comme aliments pour les animaux, les résidus agricoles sont également, bénéfiques, en tant que fertilisants verts, permettant de réduire les coûts associés à l'utilisation d'engrais et d'améliorer la qualité physique du sol, tout en fournissant un apport important en macro et micro-éléments (Hiel et *al.*, 2016).

### **2.3 Adventices**

Dans les systèmes agricoles mixtes, les plantes adventices peuvent être utilisées de diverses manières. Elles peuvent être exploitées comme fertilisants verts, fournissant de la matière organique et des nutriments au sol, ou comme couverture végétale du sol. Les adventices peuvent être utilisées comme source d'alimentation, car certaines espèces présentent une valeur nutritive intéressante (Dora *et al.*, 2008). Dans de nombreux pays, notamment en Inde, au Pakistan et au Mexique, les adventices sont une ressource précieuse pour les petites exploitations. En ce qui concerne le contrôle des mauvaises herbes, le pâturage des petits ruminants dans les allées des vergers est une pratique efficace pour réduire l'utilisation d'herbicides et les coûts d'alimentation. En Malaisie, l'utilisation de moutons pour le contrôle des mauvaises herbes s'est avérée bénéfique pour l'élevage ovin, augmentant en parallèle les rendements par unité de surface des terres (Devendra et Thomas, 2002). Au Maroc, une complémentarité territoriale entre exploitations de taille limitée et d'autres plus grandes a été relevée, à travers la mise en valeur des adventices générées par les plantations fruitières des deuxièmes par l'élevage quasiment hors sol des premières, au prix d'un grand investissement de travail pour le fauchage et le transport de ces ressources (Sraïri *et al.*, 2013).

## **IV. Les oasis de montagne du Haut Atlas central et le changement climatique**

### **1. Les oasis de montagne : description et défis environnementaux**

Les oasis sont des zones de culture intensive situées dans des environnements très arides où les conditions de vie humaine sont difficiles (Sraïri et Ouidat, 2022). Elles sont établies dans les deltas des fleuves, les plaines alluviales et diluviales ainsi que sur les bords des cônes diluviaux et alluviaux où l'eau d'irrigation provient des fleuves. La grande diversité des espèces élevées dans ces régions témoigne de la variété de situations que l'on peut y rencontrer. (El Janati *et al.*, 2021).

Les oasis sont des agroécosystèmes uniques cultivés intensivement dans les zones désertiques, où les agriculteurs cherchent à combiner de manière optimale les activités de productions animales et végétales pour valoriser au mieux des ressources limitées (Hong *et al.*, 2003). Ce sont des zones où les cultures et l'élevage sont le plus souvent systématiquement intégrés, pour permettre de recycler la biomasse et de valoriser les actifs existants selon les principes de l'économie circulaire.

Ces zones d'habitat humain et d'espace cultivé dans un environnement désertique ou semi-désertique sont appelées oasis, et se trouvent dans les régions sèches du monde telles que le pourtour du Sahara, le Maghreb et le Sahel, le Moyen-Orient, la côte ouest de l'Amérique latine et l'Asie centrale (Battesti, 2005). L'emplacement stratégique des oasis a toujours été important pour les routes commerciales et les axes de transport dans les zones désertiques (Toutain et *al.*, 1989).



**Figure 3. Oasis de Tagmout, Maroc (source : Philippe et al., 2012)**

Les oasis sont un modèle exemplaire de système de polyculture-élevage, où les cultures et l'élevage sont étroitement liés pour maximiser les ressources limitées. La combinaison de cultures vivrières et fourragères permet de nourrir la population locale ainsi que les animaux d'élevage, tandis que la pratique de l'élevage contribue au recyclage de la biomasse et à la fertilisation des sols (Dollé, 1986). Récemment, les systèmes oasiens ont subi des changements importants qui ont eu un impact négatif sur la disponibilité des ressources renouvelables essentielles pour les activités agricoles, telles que le capital, le travail, la terre et l'eau. Les effets des changements climatiques ont notamment exacerbé les difficultés propres à ces zones, en

exerçant une pression supplémentaire sur les sources d'eau déjà rares et en réduisant les rendements des cultures indispensables (Sraïri et *al.*, 2019).

En somme, les oasis illustrent la capacité de l'homme à s'adapter aux conditions difficiles de l'environnement naturel en développant des pratiques agricoles innovantes et durables, qui allient cultures et élevage pour maximiser les ressources disponibles. Les oasis sont donc des agroécosystèmes uniques qui méritent une attention particulière de la part des politiques publiques de développement durable et de lutte contre la désertification.

## **2. Changement climatique et vulnérabilité des oasis de montagne**

Le Maroc est largement perçu comme l'un des pays les plus exposés aux impacts du changement climatique. Les écosystèmes oasiens de ce pays sont vulnérables aux changements climatiques, notamment en termes de diminution de la disponibilité en eau et d'augmentation de la salinité des sols (El Mokhtar et *al.*, 2022). Par ailleurs, les régions méditerranéennes arides et semi-arides, y compris le Maroc, sont considérées comme les zones les plus affectées par les effets délétères du changement climatique (Rochdane et *al.*, 2014).

L'oasis représente un paysage écologique distinctif se trouvant dans les régions du sud-est du Maroc. Ces zones constituent un agro-écosystème complexe et vulnérable qui fournissent un soutien vital à l'agriculture dans des conditions climatiques extrêmes (Elkhoumsi et *al.*, 2014). Toutefois, diverses composantes des écosystèmes oasiens sont actuellement altérées par le changement climatique, affectant en particulier la disponibilité en eau et la qualité des sols, ce qui compromet la production agricole dans ces régions (Karmaoui et *al.*, 2014)

Des observations réalisées au cours des trente dernières années (1976-2006) mettent en évidence des indices potentiels d'impact du changement climatique. Il s'agit notamment d'une fréquence et d'une intensité accrues des périodes de sécheresse, d'inondations dévastatrices inhabituelles, d'une réduction de la durée de la couverture neigeuse dans les pics montagneux du Rif et des Atlas, de modifications dans la distribution spatio-temporelle des précipitations, ainsi que d'une diminution globale de la quantité de pluie, et de températures estivales plus élevées (El Mokhtar et *al.*, 2022).

La biodiversité végétale dans les écosystèmes oasiens situés dans le sud du Maroc est en déclin, en grande partie en raison de l'utilisation non durable des ressources naturelles, ainsi que des

impacts du changement climatique (Lamqadem et *al.*, 2017). Les répercussions du changement climatique, notamment la sécheresse, la salinité, les inondations et la diminution des ressources en eau, ont, également, contribué à la réduction de la superficie des palmiers dattiers. Ces menaces ont des répercussions négatives sur la résilience d'un grand nombre d'espèces végétales dans les écosystèmes oasiens du sud du Maroc, ce qui pourrait ultimement y entraîner une perte totale de la biodiversité végétale (Aït-El-Mokhtar et *al.*, 2022).

Dans ce contexte, l'élevage joue un rôle crucial pour améliorer l'efficacité globale du système agricole des oasis. Il permet une meilleure utilisation de l'eau et de la main-d'œuvre. Les résultats de l'étude indiquent que les systèmes agricoles oasiens efficaces reposent sur l'association entre cultures et élevage. Les systèmes d'élevage intensif, tels que les moutons D'man prolifiques alimentés avec des ressources extérieures à la ferme et les bovins laitiers, entraînent une augmentation des rendements des cultures et des revenus, tout en fournissant des produits alimentaires autoconsommés (Sraïri et *al.*, 2019).

La sécheresse et la rareté des ressources en eau sont devenus les principaux facteurs limitants la viabilité des moyens de subsistance des agriculteurs et menaçant le bien-être social. Le secteur de l'élevage est confronté à une crise sans précédent qui trouve son origine dans la dégradation environnementale résultant du réchauffement climatique (Alam, 2015). Le changement climatique met en péril la production animale en raison de ses impacts sur la qualité des cultures fourragères, la disponibilité en eau, la production laitière, les maladies, ainsi que la reproduction animale (Nardone et *al.*, 2010). Les impacts directs et indirects du changement climatique sont susceptibles d'avoir des conséquences considérables sur les performances des animaux d'élevage.

## **V. Conclusion**

En conclusion, l'économie circulaire offre une approche innovante et durable pour l'ensemble des systèmes agricoles, permettant de répondre aux défis environnementaux tout en maximisant la production. Les exemples de réussite à travers le monde montrent que l'intégration de l'élevage dans l'économie circulaire est possible et peut être bénéfique pour les producteurs, l'environnement et la société. Les systèmes d'intégration culture-élevage peuvent fournir une solution pour le bouclage des flux de nutriments, tout en permettant de mettre en valeur l'abondante biomasse cellulosique, afin de réduire les impacts environnementaux et économiques négatifs de l'agriculture. Cependant, les oasis de montagne du Haut Atlas central

sont confrontées à des défis environnementaux croissants, notamment en raison du changement climatique, ce qui met en évidence la nécessité de poursuivre les efforts de recherche et de développement pour renforcer la résilience des écosystèmes oasiens et de soutenir les agriculteurs locaux. L'élevage doit jouer un rôle important dans la promotion de la résilience des écosystèmes oasiens de montagne, en tant qu'élément essentiel de l'agriculture durable.

## **Partie 2. Monographie de la région d'étude**

## I. Situation géographique

Située dans la partie sud-est du Royaume du Maroc, le terrain d'étude est inclus dans la région de Drâa-Tafilalet, qui couvre environ 88 836 km<sup>2</sup> (12,5% de la surface du territoire national). Celle-ci est limitée administrativement dans le nord par la région de Fès-Meknès et de Béni Mellal-Khénifra, à l'Est par celle de l'oriental et les frontières avec l'Algérie, à l'Ouest par la région de Marrakech-Safi et au Sud par la région de Souss-Massa. Sur le plan administratif, la région se compose de cinq provinces : Er-Rachidia considérée le chef-lieu de la région, Midelt, Tinghir, Ouarzazate et Zagora (Figure 4). Un total de 125 communes territoriales sont recensées : 16 urbaines et 109 rurales.



**Figure 4. Carte de la région et découpage administratif de la région Drâa-Tafilalet (HCP, 2014)**

A 1 900 m d'altitude, dans la vallée de l'Oued Imdghas, l'un des principaux affluents de l'Oued Dadès, M'semrir est situé dans la province de Tinghir au piémont du Haut Atlas. Il est situé à mi-chemin de la route reliant Boumalne Dadès et Imilchil relevant de la province de Midelt. Il couvre la circonscription territoriale des communes territoriales (CT) de M'semrir et Tilmi. Il est limité au Nord par la province de Midelt, à l'Est par la CT d'Aït Hani, à l'Ouest par la province d'Azilal et au Sud par la CT d'Aït Sedrate Jbel Oulya.

## II. Milieu naturel

### 1. Climat

Le climat de la région Draa Tafilalt est de type semi-aride à aride. Il est caractérisé par la présence de vents chauds provenant du Sahara, des étés très chauds (42°C comme maximale), mais également des hivers rigoureux (minimas variant de -7°C à -1°C). Une grande amplitude de températures entre le jour et la nuit est issue de la situation en zone continentale (réchauffement diurne et dégagement de rayons sous forme infrarouge pendant la nuit).

La région a une pluviométrie caractérisée par une forte irrégularité spatio-temporelle, avec des variations allant de 250 mm sur les montagnes du Haut Atlas à 130 mm dans la zone d'Errachidia, et chutant à moins de 75 mm dans la plaine du Tafilalet.

**Tableau 3. Pluviométrie annuelle enregistrées dans les stations météorologiques (en mm)**  
(Annuaire Statistique du Maroc, 2019)

Station	2017-2018	2018-2019
Errachidia	136,1	209,5
Midelt	232,3	206,6
Ouarzazate	73,5	185,8

### 2. Sols

Les terrains sont typiquement caractérisés par des caractéristiques alluviales, avec un niveau d'évolution modeste, une profondeur attribuable à l'apport et/ou l'érosion, tout en restant sensibles du fait d'une quantité limitée de matière organique. Ils affichent une proportion considérable de calcaire et sont de texture sablo-granulaire.

### 3. Ressources en eaux

La province de Tinghir, malgré son caractère aride, possède plusieurs oueds et bassins hydrauliques importants. Les principaux bassins couvrant la province sont le Guir-Ziz-Ghriss et le barrage de Mansour Eddahbi, tandis que les principaux cours d'eau sont le Toudgha à Tinghir, le M'goun à Kelâat M'gouna, le Dadès à Boumalne Dadès et le Ghriss à Ait Hani. La province est ainsi située entre deux sous-bassins qui bénéficient de ressources hydriques diversifiées (Monographie de la province de Tinghir, 2020).

Dans les régions montagneuses, les ressources hydriques ne sont pas limitées malgré la rareté des terres cultivables. Pour intensifier l'agriculture dans la zone étudiée, il est nécessaire de mobiliser les eaux de surface ainsi que les eaux souterraines. Les principaux cours d'eau, les oueds Oussikis et Imdghas, se rejoignent pour se déverser dans l'Oued Dadès, avec des débits importants lors des périodes pluvieuses et de fonte des neiges. Le débit moyen annuel à M'semrir sur l'Oued Dadès est d'environ 3,6 m<sup>3</sup>/seconde (CMV M'semrir, 2018).

L'utilisation des eaux souterraines est limitée dans cette zone en raison des régulations coutumières. L'irrigation des terres agricoles se fait par un réseau de canaux appelés séguias, avec 30 séguias à M'semrir, ainsi qu'une khattara et un barrage de déviation. Les ressources en eau de surface sont estimées à environ 270 millions de mètres cubes, tandis que la nappe phréatique a une profondeur moyenne d'environ 20 mètres.

### **III. Contexte socio-économique**

#### **1. Population**

La population de M'semrir est composée de trois groupes distincts, à savoir les Aït Hadidou en amont, les Aït Merghad au centre et les Aït Atta en aval. Selon le dernier recensement effectué au Maroc en 2019, la population totale de la zone s'élève à 20 238 habitants, répartis dans 3 084 ménages et 37 douars. Cette population est concentrée dans les zones où les ressources en eau sont disponibles, avec une densité de population de 13 habitants par hectare, soulignant ainsi une pression anthropique élevée exercée sur les ressources naturelles.

Au fil des années, cette population, qui était initialement nomade, s'est sédentarisée le long des cours d'eau. Actuellement, on recense environ 2 200 agriculteurs dans la région de M'semrir (CMV 612 M'semrir, 2018).

#### **2. Structures foncières**

La superficie totale du périmètre s'élève à environ 213 420 hectares et est répartie selon divers modes d'utilisation. Les terrains agricoles ne représentent qu'une infime proportion, soit seulement 0,66 % de la superficie totale, tandis que les zones de parcours occupent une place prépondérante. Cette répartition résulte de la concentration des terres cultivables dans les deux vallées, ainsi que du phénomène de division successive, ce qui se traduit par une structure foncière caractérisée par une micropropriété et un morcellement très marqué.

**Tableau 4. Superficie des cultures dans la commune M'semrir**

<b>Superficie en ha</b>	<b>M'semrir</b>
Céréales	160
Fourrage	55
Maraichage	155
Arboriculture	112
<b>Total</b>	<b>482</b>

*Source: CMV 612 M'semrir (2018)*

## **IV. Caractéristiques des systèmes de production**

### **1. Production végétale**

Au sein de la zone d'étude, l'agriculture est pratiquée en terrasses et se caractérise par une prédominance marquée des fourrages, occupant 34,7 % de la SAU totale dont 23,3 % pour les prairies et 11,4 % pour la luzerne. Elle est suivie par la céréaliculture, avec une culture intensive de blé tendre et de blé dur qui occupe 33,2 % de la SAU totale. Le maraîchage (pommes de terre, salsifis, etc.) arrive en troisième position occupant 32,1 % de la surface agricole (CMV M'semrir, 2018). Plus en détail, l'assolement est figuré dans le Tableau 5.

**Tableau 5. Répartition de la Superficie et de la SAU dans les deux communes**

<b>Communes Rurales</b>	<b>Superficie Totale (ha)</b>	<b>SAU (ha)</b>
<b>MSEMRIR</b>	76 952	600
<b>TILMI</b>	136 468	800
<b>Total</b>	<b>213 420</b>	<b>1 400</b>

*Source : CMV M'semrir (2018)*

L'arboriculture fruitière occupe aussi une place prépondérante dans la région, bénéficiant de conditions pédologiques et hydriques propices. Il s'agit du pommier (370 000 arbres), cultivé à des fins marchandes. À M'semrir, on retrouve trois variétés de pommiers : la Golden Delicious, ses pollinisatrices Starking Delicious et Star Crimson, ainsi que la Royal Gala et la Jérôme. Dans le but de permettre aux producteurs de capitaliser sur les opportunités de marché, l'ORMVAO a mis en place une unité de réfrigération locale en 2018. Cette installation a une capacité de stockage de 1 500 tonnes, ce qui représente environ 10 % de la production totale de la région.

## 2. Production animale

La province de Tinghir est marquée par la prédominance de l'élevage ovin et caprin avec des effectifs respectifs de 298 000 et 227 400, tandis que les bovins n'atteignent que 16 500 dont 13 500 sont de races locales et 3 100 de races améliorées (Annuaire statistique du Maroc, 2019). Par contraste, les données du Rapport ORMVA Ouarzazate de 2015 indiquent des effectifs plus réduits pour les ovins, caprins et bovins, se chiffrant respectivement à 148 830, 98 860 et 13 300, avec une production de viande totale de 1 286 tonnes. Ainsi, l'élevage des petits ruminants, caractérisé par la mobilité, constitue une activité principale pour une partie importante de la population du périmètre de M'semrir.

L'élevage est pratiqué selon trois systèmes distincts : le premier est un élevage sédentaire qui implique la stabulation permanente d'ovins et de bovins, alimentés par des cultures fourragères telles que la luzerne et des coproduits de cultures. Le deuxième système est un élevage semi-transhumant caractérisé par une mobilité limitée ainsi qu'un recours à la complémentation pour combler les déficits alimentaires. Le troisième système est un élevage transhumant qui se base sur l'élevage extensif d'ovins et de caprins, exploitant surtout des ressources pastorales.

Le tableau 6 présente les effectifs du cheptel dans la commune de M'semrir.

**Tableau 6. Effectifs du cheptel dans la commune M'semrir**

Commune	Ovins	Caprins	Bovins	Equidés	Camelins
M'semrir	17 375	6 861	450	113	50

*Source : CMV M'semrir (2018)*

Il existe une relation étroite entre les systèmes de production animale et végétale. L'élevage joue un rôle essentiel dans la production de fumier, qui à son tour permet d'assurer l'intensification des activités agricoles sur les terres.

## **Partie 3. Approche méthodologique**

## **I. Objectifs de l'étude**

L'objectif de cette étude est d'analyser le rôle de l'élevage dans la promotion des principes d'une économie circulaire dans les oasis de montagne du Haut Atlas central. L'étude vise à comprendre comment l'élevage peut contribuer à la mise en place d'un système de production durable qui diminue les usages d'énergie fossile, favorise la réutilisation des ressources et la réduction des déchets. Plus précisément, cette étude cherche à identifier les pratiques d'élevage durable qui sont utilisées pour favoriser une économie circulaire dans les oasis de montagne du Haut Atlas central .

Une deuxième partie du travail est dédiée à une évaluation des flux de nutriments associés aux complémentarités des cultures et de l'élevage (contribution des cultures et de leurs produits dans le bilan fourrager, et retour de fertilité aux parcelles par les épandages de fumier).

## **II. Choix des exploitations**

L'échantillon utilisé pour cette étude est constitué de 35 exploitations agricoles. Le choix a été fait en prenant en compte diverses exploitations couvrant une variété de situations représentatives des réalités locales, tout en considérant l'accessibilité, la disponibilité des propriétaires et leur volonté de collaborer à l'étude. L'échantillonnage est réalisé par la méthode « boule de neige » qui repose sur la sélection initiale d'individus souvent identifiés par des contacts préalables. Ces individus sont ensuite utilisés comme des nœuds pour sélectionner d'autres participants qui répondent aux critères de l'étude. Les exploitations sélectionnées sont situées le long de la vallée de Dadès et elles pratiquent toutes la polyculture-élevage. Il y a 32 exploitations dans la commune de M'semrir, tandis que 3 sont situées dans la commune de Tilmi.

La localisation géographique des différentes exploitations est présentée sur la figure 5, moyennant l'usage de leurs coordonnées GPS

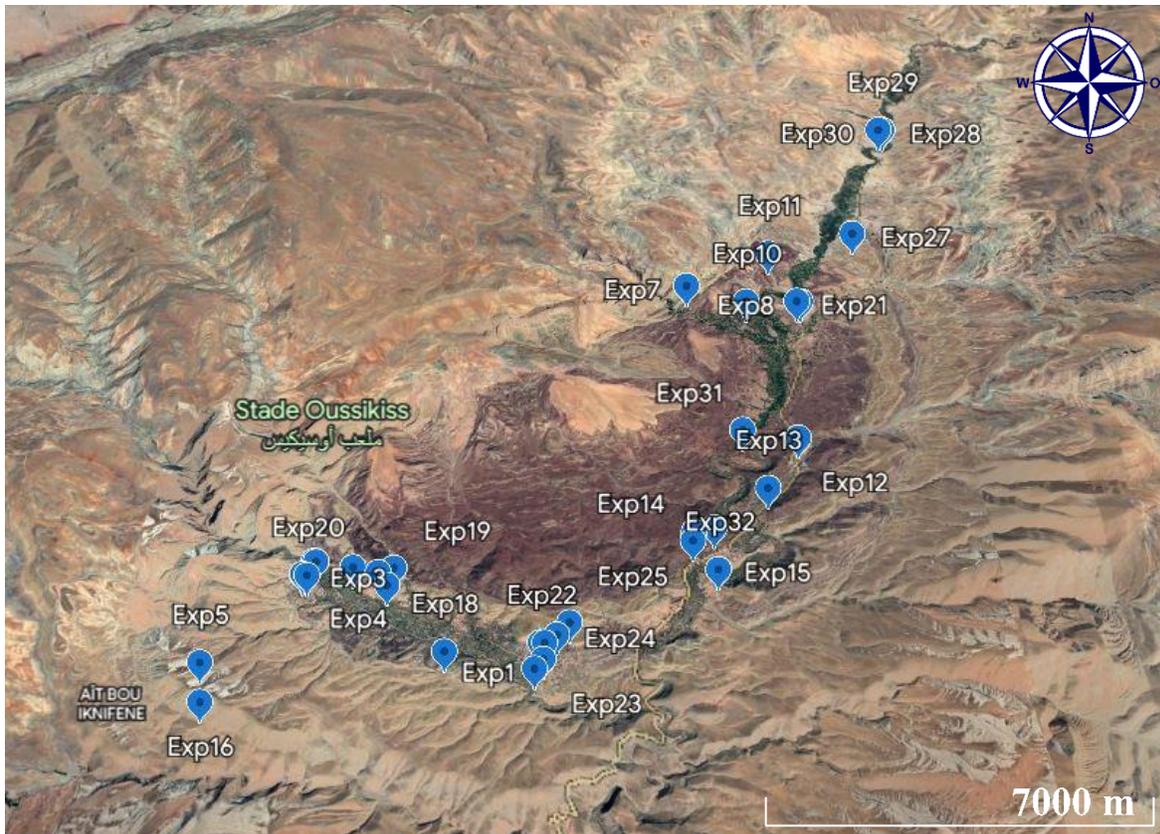


Figure 5. Localisation géographique des 35 exploitations (Google Earth, 2022)

### III. Collecte des données

Les données ont été collectées au cours d'un séjour de terrain durant la période printanière de l'année 2023. Cette période a été choisie car elle correspondait au début de la fauche des fourrages. Une fiche d'enquête a été utilisée pour obtenir des informations sur les caractéristiques des exploitations et les quantités de fumier, les données ont ensuite été analysées pour quantifier les flux de matières entre les cultures et l'élevage et réciproquement (fumier).

#### 1. Cultures fourragères

L'estimation de la production de cultures fourragères est effectuée selon les étapes suivantes :

1. un échantillonnage aléatoire de trois quadrats d'une superficie d'un mètre carré est effectué à l'intérieur d'une parcelle sélectionnée au hasard. Les quadrats sont choisis de manière à éviter les effets de bordure. Il est important que les parcelles sélectionnées

soient du même type, c'est-à-dire qu'elles comportent des cultures fourragères seules, ou des cultures fourragères associées aux pommiers ;

2. chaque quadrat est fauché selon la méthode adoptée par l'agriculteur, qu'elle soit manuelle ou mécanique ;
3. la biomasse de chaque quadrat est ensuite pesée en vert, et la moyenne des trois quadrats est calculée ;
4. le rendement fourrager d'une fauche est estimé en multipliant la moyenne obtenue par la superficie totale des parcelles du même type.

## **2. Produits et coproduits des cultures**

Des enquêtes ont été réalisées dans le but d'obtenir une estimation précise de la production de grains de céréales, tels que l'orge et les différentes espèces de blé, ainsi que la quantité de paille récoltée dans chaque exploitation agricole. La crédibilité des données collectées a été vérifiée en déterminant l'indice de récolte pour chaque situation.

## **3. Bois de taille**

Dans chaque exploitation agricole, des mesures de poids ont été effectuées sur le bois provenant de la taille des pommiers, en raison de son importance particulière en tant que matière combustible, utilisée pendant la période hivernale.

## **4. Fumier**

Des mesures de poids sont effectuées dans chaque exploitation afin d'obtenir des valeurs précises du poids du fumier séché, qui est transporté sous diverses formes, telles que des sacs de différentes tailles, des chargements de mulet, des camions et des pickups. Par la suite, une estimation est réalisée pour déterminer la quantité réellement épandue dans les parcelles.

# **IV. Traitement et analyses des données**

## **1. Flux des matières**

Le calcul des flux de matière est une approche utilisée en gestion des systèmes d'élevage pour estimer l'autonomie fourragère d'un élevage. Cette autonomie est intrinsèquement liée à la

surface fourragère et aux effectifs animaux ainsi qu'à leur répartition spécifique. Le processus de calcul peut être décrit comme suit :

### **1.1 Luzerne**

La production de luzerne est estimée en multipliant le poids obtenu à l'aide de la méthode des quadrats par la superficie de la zone cultivée en luzerne, ainsi que par le nombre de fauches effectuées par l'agriculteur au cours de l'année. Cette estimation est calculée selon la formule suivante :

**Production = SAU (luzerne) x (poids moyen des 3 quadrats) x nombre de fauches.**

La valeur énergétique de la luzerne en tant que fourrage vert est estimée à 0,14 UFL (Unité Fourragère Lait) par kilogramme de matière brute, tandis qu'en foin, elle est estimée à 0,7 UFL par kilogramme de matière brute.

### **1.2 Herbe**

La végétation spontanée, comprenant l'herbe de jachère ainsi que les adventices présentes sous les pommiers, et également l'herbe de prairie qui pousse dans des parcelles distinctes appelées « Almou », a été évaluée en termes de biomasse en vue de son utilisation complète dans l'alimentation animale, selon les procédures suivantes :

- a) Concernant l'herbe de prairie, une valeur de 0,15 UFL a été retenue par kg de matière brute. La première coupe est réalisée lorsque sa longueur atteint 140-145 cm, tandis que les coupes suivantes sont effectuées à une hauteur ne dépassant pas 50-60 cm. Par conséquent, on estime que la production des deuxièmes et troisièmes coupes sera chacune équivalente à 35 % de la production de la première coupe. Le calcul est effectué de la manière suivante :

**Production de la première coupe = (poids moyen des trois quadrats) x Surface Agricole Utile (SAU) pour l'herbe**

**Production totale = Production de la première coupe + 0,7 (poids de la première coupe).**

- b) En ce qui concerne les adventices, la biomasse correspondante est quantifiée à l'aide de la méthode des quadrats. La quantité produite est calculée en faisant la somme des biomasses

des adventices de chaque culture, estimée par la multiplication de la moyenne des quadrats par la superficie de la culture.



**Figure 6. Vue de l'Herbe de Prairie**



**Figure 7. Pesage de la biomasse d'un quadrat de l'herbe à l'aide d'un peson numérique**

### **1.3 Ecart de triage des pommes**

L'écart de triage des pommes est généralement composé de fruits présentant des défauts ou des caractéristiques indésirables qui les rendent inappropriés pour une commercialisation standard en tant que fruits frais. La valeur attribuée à l'écart de triage de pommes est estimée à 0,15 UFL/kg de matière brute à l'état frais.

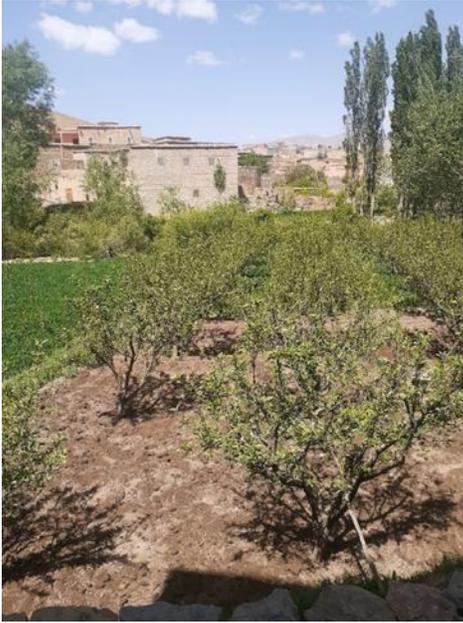
### **1.4 Paille**

La paille, qu'elle provienne de blé (dur ou tendre) ou d'orge, est estimée comme ayant une valeur de 0,5 UFL/kg de matière brute.

### **1.5 Fumier**

En tant que sous-produit fondamental de l'élevage, riche en matières organiques, le fumier est d'une grande importance pour la fertilisation des sols et l'amélioration de leur structure, tout en jouant un rôle essentiel dans la modification du ratio carbone/azote (C/N) dans le sol (Ganry et Thuriès, 2017). Le fumier, en raison de sa richesse en matière organique, contribue à maintenir la

fertilité des sols en favorisant la rétention d'eau et la circulation des nutriments, entre autres bienfaits. Pour estimer la quantité de fumier endogène épandue sur les parcelles, un calcul est effectué en évaluant le poids des unités utilisées pour transporter le fumier vers les parcelles. Ensuite, le poids total correspond au produit du poids de chaque unité par le nombre total d'unités épandues sur les parcelles.



**Figure 8. Épandage de fumier dans une parcelle**



**Figure 9. Exposition de fumier à l'air libre**



**Figure 10. Pesée du fumier en sac**

## **2. Autonomie fourragère**

L'autonomie fourragère peut se calculer en fonction de la teneur en matière sèche (en tonnes de matière sèche), en énergie (en Unité Fourragère Lait) ou en protéines (en Matière Azotée Totale).

L'équation pour calculer l'autonomie fourragère est la suivante :

Autonomie Fourragère = UFL Produites sur l'Exploitation/UFL Produites sur l'Exploitation + UFL Achetées .

Pour déterminer les "UFL Produites sur l'Exploitation", le calcul s'est basé sur la biomasse des cultures, évaluée à l'aide de la méthode des quadrats.

Pour les "UFL Achetées", le poids des quantités journalières moyennes a été mesuré, puis multiplié par la durée de distribution. De manière alternative, des questions ont été posées aux éleveurs pour obtenir la quantité totale des aliments achetés.

## **V. Identification de l'échantillon étudié**

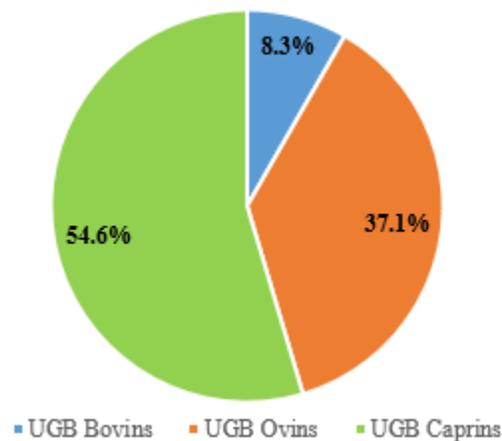
### **1. Caractéristiques structurelles des exploitations**

L'analyse a été effectuée sur un échantillon de 35 exploitations agricoles. Ces exploitations présentent une SAU moyenne de 0,5 hectares, s'étendant de 0 à 3,0 hectares au maximum. Par ailleurs, le nombre moyen de parcelles par exploitation est de 7,1, ce chiffre oscillant entre un minimum de 0 et un maximum de 20 parcelles. Pour ce qui est de la superficie individuelle de chaque parcelle, elle s'élève en moyenne à 0,06 hectares, avec une gamme de superficies allant de 0,01 hectare au minimum à 0,7 hectare au maximum par parcelle.

Parmi les 35 exploitations agricoles examinées, 29 d'entre elles possèdent des parcelles d'une superficie inférieure à 0,1 hectare. Il est également important de souligner que 14 exploitations disposent de parcelles d'une superficie inférieure à 0,04 hectares. La pression démographique conduit donc à une diminution continue des surfaces par exploitant, ce qui indique que la disponibilité de terrains est un facteur souvent restrictif.

## 2. Taille moyenne et structure du cheptel

L'étude a porté sur 35 exploitations agricoles, qui détiennent un effectif total de 247,2 Unités de Gros Bétail (UGB), soit une moyenne de 7,4 UGB par exploitation. Celle-ci varie de 0,2 à 64,7 UGB. La composition du bétail indique une prédominance de l'espèce ovine, qui représente 54,6 % des UGB totales. Elle est suivie par les caprins et les bovins (37,1 et 8,3 % des UGB totales) (Figure 11).

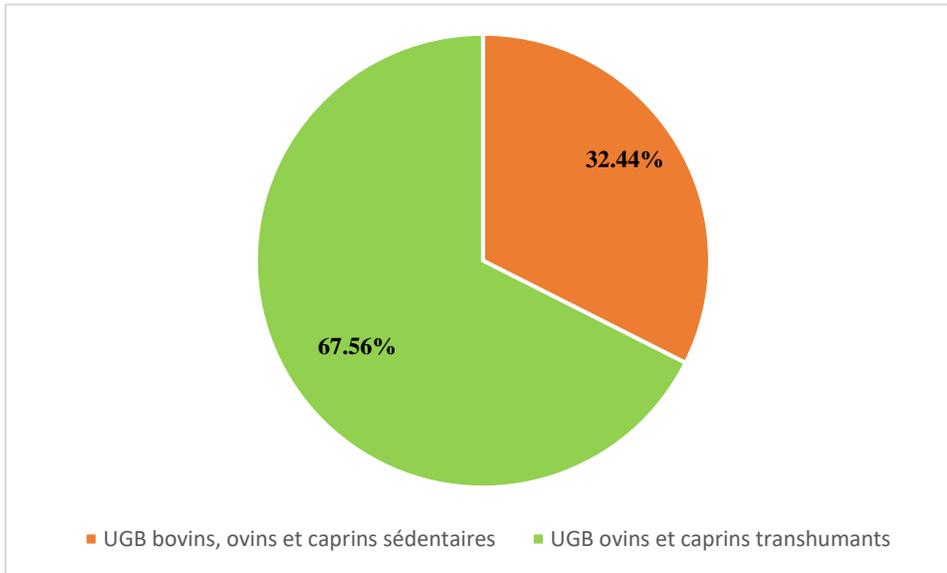


**Figure 11. Répartition des UGB totales de l'échantillon par espèce**

La gestion des troupeaux de petits ruminants (moutons et chèvres) diffère en fonction du mode d'élevage adopté par chaque exploitation. Deux types principaux sont distingués : un élevage mobile et un autre sédentaire. Les exploitations pratiquant l'élevage mobile se caractérisent par de grands effectifs de bétail, requérant de vastes pâturages pour satisfaire leurs besoins nutritionnels. Quant à l'élevage sédentaire, il est pratiqué sur un site de pâturage fixe en stabulation entravée et en régime de « zéro pâturage » tout le long de l'année.

Pour une meilleure compréhension de la répartition des UGB, il est judicieux de considérer plusieurs subdivisions. Premièrement, les UGB d'Ovins et Caprins dans des troupeaux mobiles, qui correspondent à la population dénommée localement « Tirhaline ». Deuxièmement, les UGB Bovines, qui comprennent les bovins de race locale et, à une échelle plus réduite, les bovins de type croisé et les UGB d'Ovins et Caprins sédentaires comprennent les ovins de race locale, la

race D'man, la race Sardi, ainsi que les ovins résultant du croisement entre D'man et Sardi, et Sardi et Timahdite (Figure 12).



**Figure 12. Répartition des UGB totales de l'échantillon étudié**

### **3. Paramètres descriptifs des exploitations agricoles**

En plus de l'élevage, les exploitations agricoles se consacrent aux cultures fourragères, lesquelles sont souvent cultivées en association avec les pommiers. La culture céréalière vient ensuite dans l'ordre de priorité.

#### **3.1 Le pommier**

Sur un total de 35 exploitations étudiées, 7 exploitations ne possèdent pas de pommiers. Le nombre d'arbres par exploitation fluctue entre 0 et 2500, avec une moyenne de 228,6 arbres. Le pommier est cultivé en association avec d'autres cultures, en particulier les fourrages.

#### **3.2 Les cultures fourragères**

Les fourrages englobent la luzerne ainsi que des prairies, désignées sous l'appellation vernaculaire « Almou ». Les fourrages sont présents dans toutes les exploitations, que ce soit les deux types au sein de la même exploitation ou bien un seul d'entre eux (luzerne ou prairie) et s'étalent sur une superficie de 5,48 ha. Le ratio SAU dédiée aux fourrages sur la SAU totale est en moyenne de 22,1 %, variant entre 0 (dans le cas d'un élevage transhumant) et 80 %.

### **3.3 Céréaliculture**

Les céréales cultivées sont consommées par les humains, tandis que l'orge est réservée pour le bétail, en particulier les ovins. Leurs coproduits, comme les pailles et les chaumes, sont utilisés pour l'alimentation animale. Les céréales sont cultivées dans 28 des 35 exploitations étudiées, couvrant une superficie de 7,69 hectares, ce qui représente 31,1% de la SAU totale.

### **3.4 Maraîchage**

Quatorze (14) des 35 exploitations étudiées pratiquent du maraîchage, couvrant 8 % de la SAU totale.

## **VI. Analyses statistiques**

Initialement, l'approche statistique adoptée pour le traitement des données a consisté en une analyse descriptive, ayant pour objectif d'évaluer la variabilité des pratiques et des performances à travers les 35 exploitations étudiées.

Par la suite, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été mise en œuvre. Cette technique est appropriée lors de l'analyse de données multidimensionnelles, comme c'est le cas dans notre étude avec un grand nombre de variables (telles que les fourrages cultivés, les coproduits de cultures, le fumier, etc.) qui définissent les systèmes alimentaires des ruminants.

Cette approche a permis d'obtenir une vue d'ensemble des relations entre les systèmes de production animale et de cultures au sein des exploitations agricoles. L'objectif ultime est de discuter de la durabilité des systèmes agraires de la région et de la contribution de l'économie circulaire à leur résilience face aux changements en cours (inflation, volatilité des prix des intrants et des produits, changement climatique, etc.). Toutes les analyses statistiques ont été réalisées grâce au logiciel SPSS, version 26.0 et R Studio.

## **Partie 4. Résultats et discussion**

## **I. Flux de matières dans les exploitations**

### **1. Fumier**

Le fumier représente une ressource d'une grande valeur pour l'agriculture. Il offre une fourniture riche de nutriments essentiels pour les plantes et contribue notablement à l'amélioration de la structure du sol. Dans le contexte économique actuel, marqué par une inflation mondialisée ayant provoqué une hausse significative des prix des engrais synthétiques (Lô et Amaye, 2022), l'usage du fumier prend une dimension encore plus pertinente. En effet, de nombreux agriculteurs, face à cette inflation, se trouvent contraints de réduire, voire de suspendre l'utilisation de ces engrais, avec pour conséquence une diminution des rendements agricoles. Par conséquent, le fumier, en minimisant l'application d'engrais synthétiques, se présente comme une alternative efficace et respectueuse de l'environnement. Il contribue ainsi à la clôture des cycles des nutriments et s'inscrit pleinement dans les principes d'une agriculture circulaire et durable.

Dans cette étude, il a été observé que la moyenne de fumier endogène épandu par exploitation s'élevait à 6 196 kg, soit 23 445 kg/ha. Cette donnée excède les résultats présentés par Amartini (2022) dans la même région, qui indiquait une moyenne de 4 584 kg par exploitation, et de 7 920 kg/ha pour le fumier endogène. Il est à noter que ce paramètre est largement influencé par la taille du cheptel et la superficie agricole utilisée par les exploitations.

Il convient de noter que les teneurs en nutriments du fumier au moment de son application sur la terre et son potentiel à fournir ces nutriments dépendent de plusieurs facteurs. Ces facteurs comprennent l'espèce animale, le régime alimentaire des animaux (en particulier sa digestibilité, sa teneur en protéines et en minéraux) et la gestion du fumier (Roy et Kashem, 2014). Ces aspects soulignent la complexité de l'utilisation du fumier comme source de nutriments et la nécessité d'une gestion attentive pour maximiser ses avantages.

L'élevage joue un rôle crucial dans cette transition vers une agriculture circulaire en fournissant une source précieuse de fumier, essentiel pour la régénération des sols et l'amélioration de la productivité agricole. Il favorise un système circulaire où les ressources sont utilisées de manière

efficace et durable en recyclant les coproduits des cultures et la biomasse des prairies dans le système alimentaire. Cette approche renforce la biodiversité, maximise les synergies entre les arbres, les cultures et le bétail, tout en minimisant le gaspillage (Ntawuhiganayo et *al.*, 2023), ce qui s'aligne parfaitement avec les principes de l'agriculture circulaire et de la durabilité environnementale. Sur un total de 28 exploitations sédentaires étudiées, la quantité de fumier frais (10 à 30 % d'eau) produit par UGB fluctue entre 1 184 et 5 091 kg/UGB, avec une moyenne de 2 921 kg/UGB (Tableau 7).

**Tableau 7. Quantité de fumier produite (kg/UGB)**

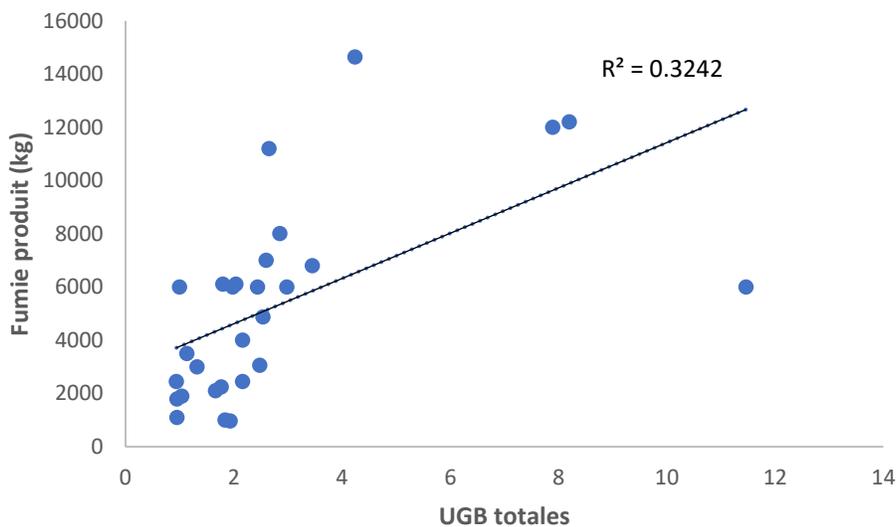
	<b>Moyenne ± écart-type</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<b>Quantité de fumier produite</b>	2 921 ± 1 072	1 184	5 091

La variabilité observée peut s'expliquer, en premier lieu, par la diversité des espèces animales, en particulier les bovins et les petits ruminants, qui constituent cette UGB. En effet, les caractéristiques intrinsèques des animaux, telles que leur taille, leur race et leur âge, diffèrent d'une exploitation à une autre, engendrant ainsi des variations dans la production de fumier. En second lieu, les méthodes de stockage du fumier jouent un rôle déterminant. Le fumier issu des bovins est généralement exposé à l'air libre, permettant ainsi son assèchement, ce qui conduit à une réduction de son poids. À l'inverse, le fumier ovin est conservé à l'intérieur des bergeries jusqu'à son utilisation ultérieure dans les parcelles, engendrant une compression du fumier.

En se basant sur les exploitations se consacrant uniquement à l'élevage ovin, la moyenne de fumier produite par tête est estimée à 400 kg par an. En revanche, la quantité de fumier humide (contenant entre 10 et 30 % d'eau) produite par animal ( ovin et caprin) au Maroc peut atteindre jusqu'à 700 kg par an, selon Sabir et Roose (2017). Cette différence peut s'expliquer par les pratiques de gestion du fumier propres à chaque exploitation. Dans la majorité des cas, le fumier reste stocké dans la bergerie, où il est compacté par les animaux jusqu'à son utilisation pour la fertilisation des parcelles.

En ce qui concerne l'élevage transhumant, il a été observé que, parmi les sept transhumants, seuls deux d'entre eux procèdent à la collecte de fumier dans leur propre enclos de montagne ou « azib ». Les quantités de fumier collectées par ces deux transhumants sont respectivement de 1 290 et 1 400 kg/UGB. Quant aux cinq transhumants restants, ils adoptent une autre approche, laissant le fumier sur place comme contrepartie à la location des « azibs ».

La figure 13 illustre la relation entre la quantité de fumier produite et les effectifs d'UGB. La courbe de tendance, qui est dérivée de ces données, sert à modéliser cette relation. On peut remarquer que certaines exploitations se situent en dessous de la courbe de tendance. Ces exploitations produisent une quantité de fumier inférieure à celle prévue par le modèle. Cela pourrait indiquer que ces exploitations ne gèrent pas leur fumier de manière optimale. Par conséquent, elles ne tirent pas pleinement parti de la potentialité de production de fumier que leur UGB pourrait normalement générer. D'autre part, les exploitations situées au-dessus de la courbe de tendance présentent une production de fumier supérieure à celle que l'on pourrait anticiper en se basant sur leur richesse animale (nombre d'UGB).



**Figure 13. Fumier produit en fonction des UGB Totales (sédentaires)**

La question du stockage du fumier demeure un aspect souvent négligé, particulièrement dans le contexte des petites exploitations familiales. Selon une étude faite au Kenya par Casu et Flavia (2019) dans des fermes mixtes adoptant de mauvaises pratiques de stockage de fumier, on pourrait estimer des taux de pertes de 75 % de matière sèche et 80, 74, 45 % de carbone, azote et

phosphore, respectivement. Ces taux se rapportent à des quantités de fumier stockées pendant une durée de six mois. De manière générale, la gestion des déchets provenant des activités d'élevage constitue un impératif de premier plan en ce qui concerne la préservation et la régulation des cycles nutritionnels au sein des structures de production. Cet impératif se révèle d'autant plus critique au sein des exploitations agricoles à caractère familial, celles-ci étant souvent contraintes par des limitations en termes d'approvisionnement en intrants, comme évoqué par Ramarovahoaka et *al.* (2023).

## **2. Luzerne**

Dans le contexte d'intégration agriculture-élevage au sein des zones montagneuses, la luzerne se positionne comme une culture d'intérêt primordial. En effet, cette légumineuse pluriannuelle est largement utilisée en tant que fourrage pour l'élevage d'animaux tels que les bovins, les ovins et les caprins, en raison de sa forte concentration en protéines, vitamines et minéraux (Broderick et *al.*, 2000). De plus, elle présente un avantage agronomique en termes de fixation d'azote grâce à son association symbiotique avec des bactéries du genre *Rhizobium* (Zahran, 1999). Par conséquent, elle contribue à l'enrichissement du sol en azote, un élément essentiel à la croissance des plantes, réduisant ainsi la dépendance vis-à-vis des engrais chimiques azotés. Ce bénéfice s'étend aux cultures associées, comme le pommier.

L'analyse des données de production révèle une moyenne de 3,4 fauches/an et par parcelle. En termes de rendement, la production annuelle moyenne s'élève en moyenne à 109,7 tonnes/ha. Il est estimé que 80% de la récolte est fanée, tandis que le reste (20%) est distribué en vert (frais) au bétail.

Durant la période de fauche (d'avril à octobre), une relative abondance de ressources alimentaires est observée, par rapport à la période de soudure (fin de l'automne et hiver). Ceci est dû à la croissance vigoureuse des mauvaises herbes et de l'herbe de prairie, stimulée par des conditions climatiques favorables, et aussi à la relative disponibilité de l'eau d'irrigation par rapport à l'exiguïté des surfaces mises en culture. Toutefois, la consommation de luzerne verte peut causer des problèmes de santé chez le bétail, notamment la météorisation (Wang et *al.*, 2012), obligeant les éleveurs à modérer son utilisation, ou tout simplement à la faner pour une utilisation ultérieure.

### **3. Végétation spontanée**

#### **3.1 Prairie (Almou)**

Dans le contexte des prairies, l'observation montre une fréquence moyenne de fauche de 3,6 par an pour chaque parcelle. En termes de volume, la production annuelle de matière verte fauchée atteint une moyenne de 3,11 tonnes par exploitation, ce qui équivaut à 47,7 tonnes/ha. Il est à noter que 65,1% de la production totale issue de la végétation spontanée est soumise à la fenaison, c'est-à-dire qu'elle est coupée et séchée pour être utilisée comme foin. Les 34,9 % restant de la production sont distribués en vert.

#### **3.2 Adventices**

Il est bien connu que certaines adventices, ou mauvaises herbes, peuvent servir de source de nourriture pour le bétail. Ces plantes, bien qu'indésirables dans le contexte agricole en raison de leur impact négatif sur le rendement des cultures, peuvent présenter une valeur nutritive certaine pour les animaux d'élevage. Plus spécifiquement, ces adventices sont issues du désherbage des parcelles consacrées aux cultures annuelles, telles que les céréales et le maraîchage, ainsi que des parcelles plantées en pommiers où le désherbage est effectué autour de la base de l'arbre. La biomasse produite par ces adventices atteint en moyenne 616,2 kg par exploitation, toutes cultures confondues. Cela équivaut à 2 861 kg/ha. Il convient de noter que la totalité de cette biomasse d'adventices, une fois désherbée, est fauchée et immédiatement distribuée en vert comme alimentation pour le bétail.

### **4. Paille**

En moyenne, la production de paille par exploitation s'élève à 675,6 kg, ce qui correspond à 4 120 kg de paille par hectare. La paille issue du blé, qu'il soit dur ou tendre, constitue 78,2% de cette production totale, tandis que la paille d'orge en représente 21,8%.

L'accumulation de stocks de paille est une pratique courante dans les zones de montagne pour faire face à la longue période hivernale durant laquelle la fauche de fourrage est interrompue. Cette pratique peut aider à atténuer les effets des fluctuations de prix de l'alimentation du bétail, qui peuvent s'aggraver lors de périodes de sécheresse en automne et en hiver (Undersander et *al.*, 1993). La paille est souvent le sous-produit le plus utilisé pendant les périodes de soudure, lorsque la production de biomasse des pâturages est limitée. C'est une

ressource précieuse pour les éleveurs cherchant à maintenir la productivité de leur bétail pendant ces périodes de faible disponibilité de fourrage.

## **5. Ecart de triage de pomme**

Certaines pommes présentant des tâches ou des attaques d'insectes peuvent être récoltées et séchées pour être utilisées comme ressource alimentaire pour les animaux, en particulier les bovins. Ces pommes peuvent provenir de pommiers qui ne sont pas destinés à la production de fruits pour la consommation humaine, soit parce que la qualité des fruits n'est pas assez élevée, soit parce que les pommes sont tombées de l'arbre et ne peuvent plus être autoconsommées ou vendues. Les évaluations de terrain montrent qu'en moyenne chaque exploitation agricole valorise annuellement 412 kg (1,5 kg par arbre) de déchets issus du triage des pommes. L'exploitation des déchets issus du triage des pommes pour l'élevage constitue un attribut distinctif majeur des exploitations agricoles familiales dans la région étudiée, illustrant ainsi les principes de l'agriculture circulaire à travers l'intégration harmonieuse de la culture et de l'élevage.

## **6. Autonomie fourragère**

L'autonomie fourragère peut se définir comme la capacité d'un système d'élevage à subvenir aux besoins alimentaires, particulièrement énergétiques, de son cheptel à partir de ressources fourragères produites sur l'exploitation (Aourchid et Raiah, 2015). Elle mesure l'indépendance des élevages par rapport à l'achat de fourrages et de concentrés sur le marché. D'autre part, l'autonomie fourragère peut également être définie de manière plus technique et quantitative. Dans ce cas, elle est considérée comme le rapport entre l'énergie alimentaire (UFL) produite au sein de l'exploitation et l'énergie totale ingérée par le bétail qui est calculée à partir des unités zootechniques décrites dans la partie bilan énergétique.

**Autonomie fourragère** = UFL produite au sein de l'exploitation/ UFL totale ingérée par le bétail.

L'autonomie fourragère est d'une importance cruciale pour les éleveurs car elle permet de contrôler les coûts, de prévenir la vulnérabilité face aux fluctuations des prix des aliments pour animaux sur le marché (Martin et *al.*, 2013), de favoriser la durabilité environnementale en réduisant le transport de fourrage, et de maintenir la qualité et la traçabilité de l'alimentation du



agricoles. En contrepartie de ce travail, elle reçoit de la luzerne et de l'herbe. Ces ressources, qu'elle recueille avec son mari, sont ensuite utilisées pour nourrir leur troupeau. La valeur maximale de l'autonomie fourragère est observée dans l'exploitation n°11, qui dispose de 1,66 UGB et une SAU de 0,47 hectares.

Concernant les éleveurs transhumants, ils ne possèdent pas de parcelles propres, de ce fait, leurs apports énergétiques proviennent de ressources pastorales et d'aliments achetés

Plus la SAU est grande, plus l'exploitation a la capacité de produire des ressources alimentaires pour son cheptel, ce qui peut augmenter l'autonomie fourragère. En revanche, lorsque le nombre d'UGB croît, les besoins alimentaires du cheptel augmentent, pouvant ainsi réduire l'autonomie fourragère. En général, lorsque la SAU est faible et le nombre d'UGB est élevé, l'autonomie fourragère tend à être plus limitée. C'est parce qu'une exploitation avec peu de terres et un grand nombre d'animaux aura du mal à produire suffisamment de fourrage pour subvenir aux besoins de son cheptel. Dans ce cas, l'exploitation devra acheter des fourrages ou des aliments supplémentaires sur le marché, ce qui réduira son autonomie fourragère.

L'autonomie fourragère des élevages revêt une importance cruciale tant du point de vue économique que du point de vue de l'économie circulaire. Les élevages associant bovins et petits ruminants atteignent une autonomie moyenne de 50,5 %, avec un ratio de SAU fourragère à SAU totale de 44 %. Comparativement, les élevages avec des troupeaux exclusivement composés de petits ruminants affichent une autonomie fourragère moyenne de 43,5 % et un ratio SAU fourragère/SAU totale de 36 %.

Ces tendances démontrent que les élevages mixtes (bovins et ovins) consacrent une proportion plus importante de leur SAU totale à la production fourragère, ce qui peut justifier leur meilleure autonomie fourragère. La variation de 8 % entre les ratios SAU des deux types d'élevages pourrait influencer directement cette différence observée en autonomie. Les exploitations dotées d'une SAU fourragère conséquente semblent privilégier l'élevage bovin, une préférence qui pourrait être attribuée aux besoins nutritionnels spécifiques des bovins. Ces derniers nécessitant un volume important de fourrage, il est essentiel d'avoir une SAU plus vaste dédiée à la production fourragère. En outre, une forte autonomie fourragère permet aux éleveurs de réduire l'achat d'aliments sur le marché (Havet et al., 2014). Cette réduction se traduit non seulement par une baisse des coûts de production, mais par une diminution de l'empreinte environnementale

liée à la production, au transport, et à l'emballage des aliments. Les principes de l'économie circulaire se manifestent avec éclat dans ce contexte. En valorisant la biomasse locale et en obtenant une autonomie accrue, une réduction de la dépendance aux intrants extérieurs se matérialise (Vigne et *al.*, 2021). D'autres paramètres, tels que la gestion des ressources, l'efficacité d'utilisation des terres, et les pratiques d'élevage jouent un rôle prépondérant dans cette équation. Par exemple, certaines exploitations peuvent réussir à maintenir une autonomie fourragère élevée malgré une SAU réduite et un nombre élevé d'UGB. L'une des méthodes clé adoptées par ces éleveurs est le respect rigoureux des durées entre deux fauches, garantissant ainsi une régénération optimale des plantes et une production fourragère de qualité.

## **7. Bilan énergétique**

Le bilan énergétique est défini comme le rapport entre l'énergie fournie par l'ensemble des aliments - qu'ils soient produits sur l'exploitation ou achetés - et les besoins énergétiques totaux du cheptel (Friggens et *al.*, 2011). Cette mesure offre une évaluation précise de l'autonomie alimentaire d'une exploitation, reflétant sa capacité à subvenir aux besoins énergétiques de son cheptel à partir de ses propres ressources, exprimés en (UFL). Les hypothèses adoptées pour le calcul des besoins énergétiques des animaux sont les suivantes :

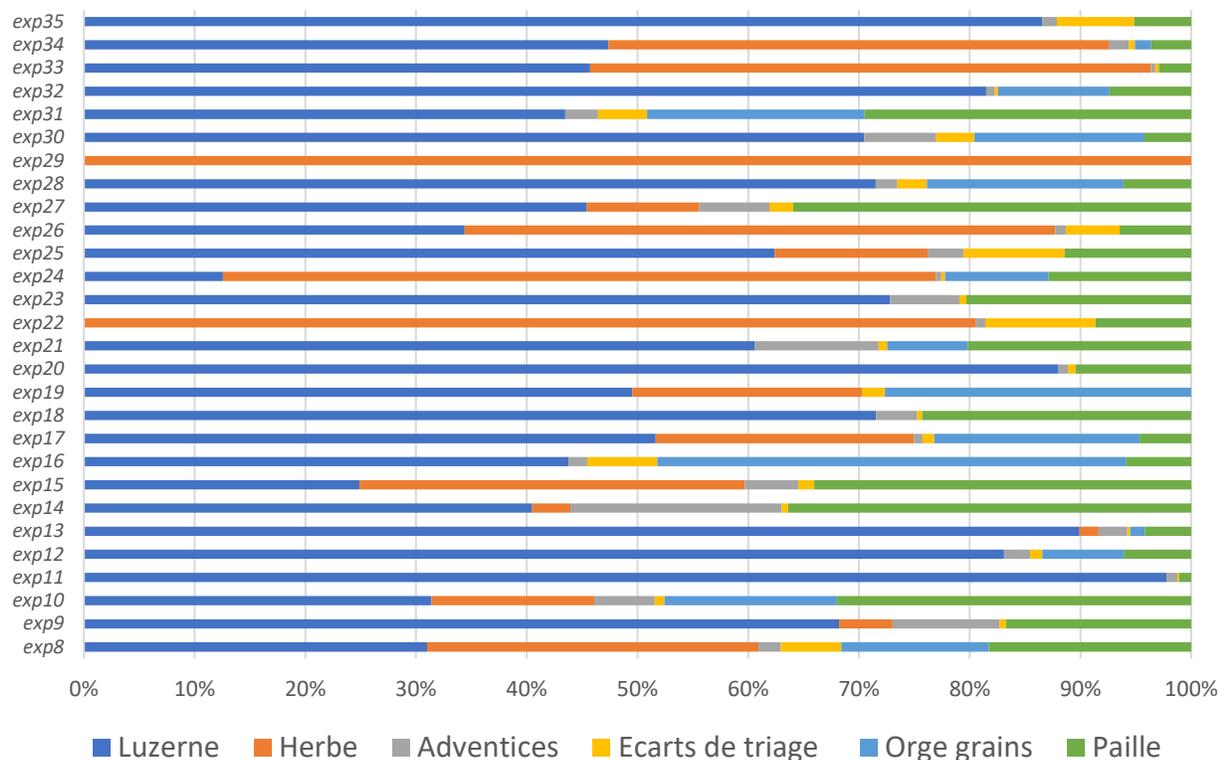
- pour les bovins, on estime un besoin d'entretien de 4,1 UFL/jour, et des besoins de production correspondant à un potentiel de 1 500 litres de lait par an par vache, avec un poids vif de 450 kg. Les besoins liés à la gestation sont considérés comme négligeables pendant les 6 premiers mois, période durant laquelle la croissance du fœtus est lente. Plus de 80 % de cette croissance a lieu durant les 4 derniers mois de gestation, avec des besoins journaliers de 0,65 UFL pendant le septième mois, 1,2 UFL pendant le huitième mois, et 2 UFL pendant le neuvième mois de gestation, pour un veau de 30 kg ;
- pour les ovins, les besoins ont été calculés sur la base de l'Unité Zootechnique (UZ), qui correspond à une brebis et son agneau. Les besoins d'une UZ sont de 600 UFL/an. Pour les ovins au pâturage, ces besoins sont majorés de 25 % (Boujenane, 2005) pour tenir compte des besoins liés à la marche ;
- pour les caprins, les besoins d'une UZ s'élèvent à 550 UFL/an.

L'évaluation du bilan énergétique montre que 71,9 % des besoins des animaux sont couverts par les aliments ; cette moyenne varie entre exploitations à élevage sédentaire (86,9 %) et celle à

élevage transhumant (13,0 %). Ce pourcentage relativement limité représente la part des besoins énergétiques du troupeau qui est couverte par les aliments achetés. Cela met en évidence que les éleveurs transhumants dépendent fortement des ressources fourragères spontanées que leurs troupeaux prélèvent lors du pâturage pour répondre à leurs besoins énergétiques. Cette dépendance significative des parcours naturels souligne l'importance de la gestion durable de ces ressources pour le mode de vie transhumant.

## **8. Contribution des ressources fourragères endogènes à l'apport énergétique**

D'après les données recueillies auprès des 28 exploitations sédentaires, la luzerne domine l'apport énergétique avec une contribution d'environ 2 347,3 UFL par an, ce qui équivaut à 67,7 % de l'énergie totale consommée. La bonne productivité de la luzerne peut s'expliquer par la disponibilité de l'eau d'irrigation ainsi que les pratiques culturales qui lui sont prodiguées, compte tenu de la surface cultivée réduite. L'herbe de prairie, la paille (d'orge et de blé combinés), les adventices et les grains d'orge suivent respectivement en termes de contributions. Cependant, ces pourcentages peuvent varier selon les exploitations, comme le montre la Figure 16. Au total, les fourrages cultivés représentent près de 87,0 % des UFL ingérés, révélant leur rôle primordial dans les systèmes d'élevage des oasis de montagne. Ceci montre que la durabilité et l'efficacité des systèmes d'intégration cultures élevage, étayée par la présence de ces flux nutritifs. Ceci s'accorde pleinement avec les arguments avancés par Sumberg (2003).



**Figure 16. Apport énergétique des aliments issus des exploitations sédentaires**

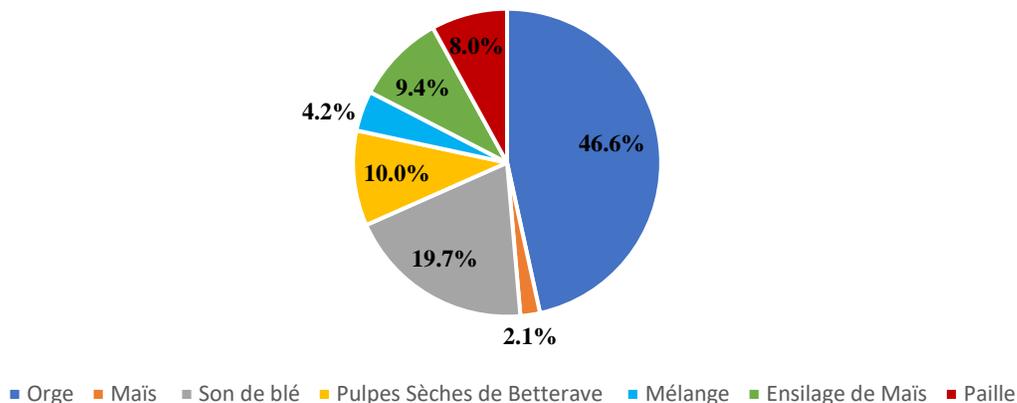
Sur le plan économique, l'utilisation majoritaire de ressources produites localement, comme la luzerne et l'herbe de prairie, peut engendrer des économies substantielles en réduisant les besoins d'achat de ressources exogènes. Cette approche locale s'inscrit parfaitement dans le concept d'économie circulaire, en privilégiant les circuits courts et en minimisant les coûts liés au transport et l'empreinte carbone associée, comme mis en lumière par Sauvé et *al.* (2016). La diminution de la dépendance aux énergies fossiles, notamment pour le transport des aliments, est essentielle dans la lutte contre le changement climatique, comme détaillé par Pellerin et *al.* (2013). Par conséquent, l'accent mis sur la valorisation des ressources locales dans les exploitations sédentaires ne renforce pas seulement leur résilience économique, mais contribue à une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement.

L'intégration harmonieuse de l'élevage et des cultures, au sein de l'agriculture régénérative, est reconnue comme une pierre angulaire de cette approche agricole. Cette stratégie vise à restaurer la santé des sols et à accroître la productivité des terres, répondant ainsi aux défis environnementaux pressants posés par l'agriculture conventionnelle, tout en satisfaisant les

besoins alimentaires croissants de la population mondiale (Newton et *al.*, 2020). Outre son rôle dans la restauration des sols, l'élevage renforce la sécurité alimentaire des ménages agricoles, souvent considéré comme un indicateur de richesse. Cela contribue à renforcer la résilience sociale et économique des communautés agricoles (Ntawuhiganayo et *al.*, 2023). Cependant, il est crucial de reconnaître que l'élevage n'est pas exempt de préoccupations environnementales, notamment en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre, comme le méthane. Cependant, une gestion appropriée des cultures et des pâturages peut non seulement réduire les émissions globales de gaz à effet de serre, mais aussi favoriser la séquestration du carbone dans le sol, atténuant ainsi les impacts environnementaux (Teague et *al.*, 2016).

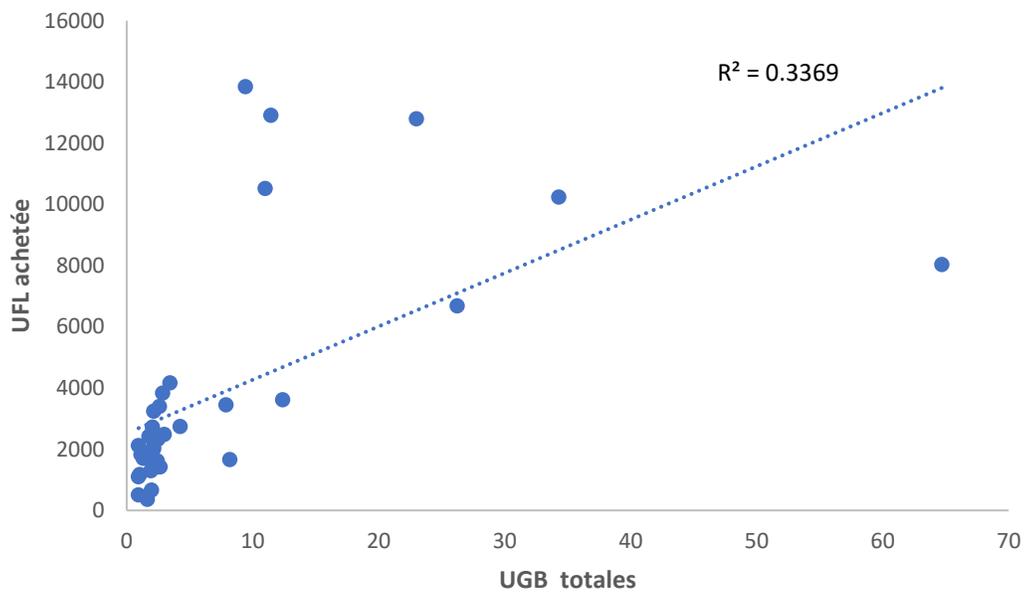
## 9. Aliments achetés

L'analyse des données révèle que l'acquisition moyenne d'UFL par exploitation est estimée à 3 821,9 UFL par an. Cela représente 542 UFL par UGB chaque année. Une ventilation plus détaillée de ces achats d'énergie nette (UFL) montre que l'orge constitue la part la plus importante, représentant 46,6 % du total des UFL achetées (Figure 17). En deuxième lieu, se classe le son de blé qui contribue à 19,7 % du total, suivie des pulpes sèches de betterave à 10 %. Par la suite, viennent l'ensilage de maïs qui représentent 9,4 % des UFL achetées, et la paille avec une contribution de 8%, un mélange alimentaire (composé de 30 % de pulpes sèches de betterave, de 30 % d'orge et de 40 % de maïs) - 4,2 % - et enfin le maïs grain (2,1 %). En outre, il est à noter que l'exploitation n°3 qui pratique un élevage transhumant, a procédé à l'achat de 1 500 kg d'ensilage de maïs.

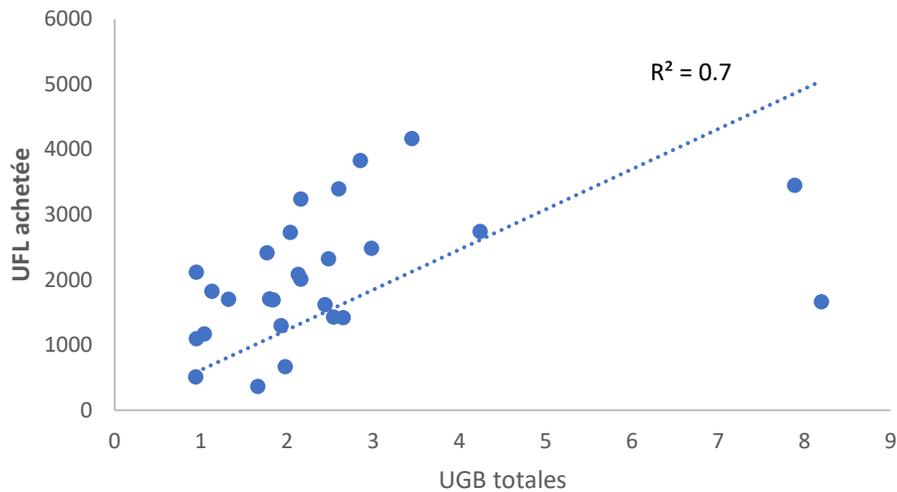


**Figure 17. Répartition des différents aliments achetés en fonction de leurs apports énergétiques totaux**

Il est remarqué que la quantité d'UFL achetée est étroitement liée aux effectifs animaux, exprimés par les UGB totales (Figure 18). Cela est encore plus marqué dans les troupeaux exclusivement sédentaires (Figure 19). Cette tendance peut s'expliquer par le fait que lorsque les exploitations agricoles font face à des contraintes de ressources fourragères sur leurs propres parcelles cultivées, elles se trouvent dans l'obligation d'acquérir des UFL supplémentaires afin de répondre aux besoins de leurs animaux. Ce besoin devient particulièrement prononcé à mesure que le nombre d'UGB augmente, amplifiant ainsi la corrélation positive observée entre les UGB totales et les UFL achetées.



**Figure 18. Energie (UFL) achetée en fonction des effectifs d'UGB totales (cas de tous les élevages)**



**Figure 19. Energie (UFL) achetée en fonction des UGB totales (cas des élevages sédentaires uniquement)**

## 10. Les enclos de haute montagne

Les enclos de haute montagne, connus localement sous le nom de « azibs », sont des structures multifonctionnelles construites dans les régions montagneuses. Utilisés par les éleveurs transhumants, ces enclos ne servent pas uniquement à confiner le bétail pendant la période de transhumance. Ils ont deux objectifs majeurs : fournir un abri pour la nuit afin de protéger le bétail contre les prédateurs, les voleurs et les conditions météorologiques difficiles, et concentrer le fumier pour un ramassage ultérieur, car il est souvent utilisé comme engrais précieux. Ces objectifs reflètent la complexité et l'importance des azibs dans la gestion du bétail en haute montagne, en mettant en évidence leur rôle polyvalent et essentiel dans les pratiques d'élevage traditionnelles.

Ces enclos sont constitués de murs en pierre ou en argile, qui offrent une protection contre les conditions météorologiques difficiles de la montagne, telles que le vent, le froid et la neige. Les « azibs » sont conçus de manière à être fonctionnels et adaptés aux besoins des éleveurs et du bétail pendant leur séjour saisonnier en haute montagne. Ils servent de refuge pour les animaux, leur offrant un abri sûr. Ils permettent aux éleveurs de surveiller et de protéger leur bétail, de faciliter les activités de traite et d'assurer une gestion plus efficace du troupeau.

En ce qui concerne la transhumance, les enclos de haute montagne fournissent des espaces supplémentaires pour le bétail durant les mois estivaux. Dans les vallées où les conditions

climatiques peuvent être excessivement chaudes ou sèches, ces pâturages en altitude offrent des ressources alimentaires complémentaires, contribuant ainsi à la santé du bétail et à la durabilité globale de l'élevage dans ces régions. Dans le contexte actuel du changement climatique, les enclos de haute montagne présentent une opportunité pour l'adaptation. La capacité de déplacer le bétail vers des altitudes plus élevées octroie une opportunité d'adaptation aux défis posés par l'augmentation des températures et les modifications des précipitations. Ceci représente une stratégie d'adaptation viable qui peut aider à maintenir l'équilibre agricole dans des conditions climatiques changeantes (Bourbouze, 1999).

Ces structures sont souvent situées près de zones de pâturage riches en herbe et en eau, permettant aux éleveurs de profiter des ressources saisonnières de la montagne.

Dans la zone des Aït Hdidou, située dans la vallée de l'oued Dadès, se déploient 164 « azibs », formant un réseau étendu autour de 11 douars, dont Bouljam, Ait Oukhsin, Ait Iazza, Ihoudign, Tilmi, Imlouane, Iznaguen, Aqdim, Ait Ali Ouikou, Ait Moussa Ouchou, Ait Oumoussa. Ainsi, dans le douar d'Oussikiss à lui seul, on trouve 94 « azibs ». Cette distribution géographique n'est pas fortuite. En fait, Oussikis et Aït Hdidou sont les douars situés le plus en amont de la vallée de l'oued Dadès, positionnant ces douars plus près des vastes pâturages de haute altitude. Cette proximité favorise l'accès aux pâturages de haute altitude, essentiels pour le bétail pendant les mois d'été. De plus, cette proximité réduit les distances parcourues pour le transport du fumier, autrefois acheminé à dos de mulets, mais de nos jours convoyés par camion.

Pour construire un « azib », plusieurs charges sont impliquées :

- main-d'œuvre du maçon, dont le savoir-faire est essentiel pour construire l'azib en utilisant des pierres. Le tarif est de 150 dirhams (DH) par mètre carré de mur construit, considérant une hauteur standard de 1,5 mètre. Le coût total de la main-d'œuvre dépendra de la taille de l'azib et de la quantité de pierres utilisées ;
- coût des pierres, car pour la construction, il est nécessaire d'acquérir des pierres. Le coût est estimé à 200 DH par mètre carré. Ce montant peut varier en fonction de la quantité de pierres requises pour l'azib spécifique.

Il est important de noter que ces frais ne couvrent pas l'ensemble des coûts liés à la construction d'un « azib ». D'autres charges peuvent être impliquées, notamment l'achat de matériaux supplémentaires tels que le bois pour la toiture.

Pour déterminer le coût final de la construction d'un « azib », il faut multiplier sa surface par le coût unitaire (par mètre carré) des pierres. À titre d'indication, une surface d'azib typique peut varier de 150 à 250 mètres carrés. Par conséquent, le coût total de construction peut se situer entre 52 500 DH (150 m<sup>2</sup> x 350 DH/m<sup>2</sup>) et 87 500 DH (250 m<sup>2</sup> x 350 DH/m<sup>2</sup>).



**Figure 20. Localisation géographique d'un Azib**

Dans l'azib et pendant la période de séjour du bétail, qui s'étend sur 4 à 5 mois (Mai - Septembre), une quantité significative de fumier est produite. En termes de volume, cela se traduit par l'équivalent de 3 camions chargés de fumier pour un cheptel constitué de 30 unités zootechniques ovines et 100 unités zootechniques caprines. Toutefois, il convient de souligner que le poids de ces chargements peut varier, oscillant entre 12 et 18 tonnes, en fonction de la teneur en eau, elle-même liée à la présence d'urine dans le fumier. Le fumier collecté est transporté par des mulets jusqu'au point de rassemblement, où il est ensuite transféré dans des camions pour le transport ultérieur. En raison des contraintes topographiques et de la nature difficile des routes de montagne, le processus de collecte et de transport du fumier est soigneusement adapté. Les mulets jouent un rôle crucial en acheminant le fumier depuis l'azib jusqu'à un point stratégique, choisi pour son accessibilité aux camions. Une fois sur place, le fumier est transféré sur les camions qui effectueront le reste du transport. En ce qui concerne le

coût du fumier, le prix d'un camion de 18 tonnes est de 4 500 DH, ce qui revient à environ 250 DH la tonne. Ce prix peut varier en fonction des facteurs locaux, de l'offre et de la demande. Dans ce contexte spécifique, les agriculteurs du douar sont généralement des acheteurs de fumier. Ils l'acquièrent dans le but de l'utiliser comme fertilisant pour leurs parcelles agricoles. Le fumier, riche en éléments nutritifs, est une source précieuse d'amendement organique pour les sols, favorisant ainsi la croissance et la santé des cultures.

Dans de nombreux cas, les propriétaires d'azibs louent leurs enclos aux éleveurs avec des troupeaux mobiles pendant la période de transhumance. En contrepartie de l'utilisation de l'azib, les éleveurs s'engagent à fournir le fumier au propriétaire. Le fumier produit par le troupeau est un sous-produit naturel de la présence des animaux dans l'azib.

L'étude des élevages transhumants a permis d'estimer la quantité de fumier produite annuellement à partir de ces « azibs », suscitant une réflexion sur l'utilisation de ces ressources. En se basant sur une présence moyenne de 28 unités de gros bétail (UGB) par azib et une production de 1,3 tonne de fumier par UGB, nous arrivons à une production totale de 38,1 tonnes de fumier par « azib » chaque année. Si l'on suppose que la moitié des azibs collectent leur propre fumier, cela se traduirait par une production de 4 695,6 tonnes de fumier.

Cependant, une question cruciale se pose : l'intégralité de cette quantité revient-elle effectivement au territoire, ou y a-t-il des pertes, qu'elles soient dues à la vente à l'extérieur ou simplement à une non-récupération ? L'impact économique et environnemental de cette question est réel. Si nous envisageons l'hypothèse d'une certaine proportion de récupération du fumier, il est essentiel de quantifier précisément ces paramètres. Supposons que cette proportion soit déterminée, nous pouvons alors estimer les quantités spécifiques de matière organique (MO), d'azote (N), de phosphore (P) et de potassium (K) impliquées dans ce processus, en référence au tableau de composition du fumier des ovins (Chafia El Alaoui, 2003).

En outre, il serait pertinent de discerner les avantages agronomiques potentiels pour différents types de cultures. Les céréales et l'arboriculture, telles que la culture des pommiers ainsi que les cultures qui lui sont souvent associées, notamment la luzerne, émergent comme des candidats privilégiés pour profiter de ces ressources fertiles. La question de savoir quelle culture bénéficie le plus de cet apport en nutriments revêt une importance cruciale pour l'amélioration de la productivité agricole et la durabilité environnementale. Le tableau 8 représente les quantités de

nutriments présentes dans le fumier des petits ruminants, ainsi que la production totale estimée à partir des quantités totales de fumier estimées dans l'hypothèse donnée.

**Tableau 8. Composition du fumier des ovins et production totale estimée**

<b>Matériaux (kg/tonne)</b>	<b>Fumier des petits ruminants</b>	<b>Production totale (kg)</b>
Matière organique sèche	300	1 408 680
Humus	125	586 950
Azote total	8,25	38 739
Phosphore P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,2	10 330
Potassium K <sub>2</sub> O	6,65	31 226

Source : **Chafia El Alaoui (2003)**

Dans cette optique, notre réflexion se tourne vers la comparaison entre les cultures céréalières et l'arboriculture, plus spécifiquement les pommiers. Si les céréales sont des cultures de base essentielles pour la subsistance alimentaire, il est envisageable que les pommiers, notamment en association avec la luzerne, soient les plus grands bénéficiaires de ces apports en fumier riche en éléments nutritifs. Cette association pourrait stimuler la croissance et la productivité des pommiers, contribuant ainsi à l'amélioration de la production fruitière locale.

L'apport en nutriments contenu dans le fumier des azibs offre une opportunité exceptionnelle de prévenir les déchets et d'encourager une utilisation efficiente. En valorisant stratégiquement le fumier comme source d'engrais naturel, nous pouvons non seulement diminuer la dépendance aux engrais synthétiques, mais aussi réduire l'impact environnemental associé à leur production et à leur utilisation. Cette approche s'inscrit parfaitement dans les principes de l'économie circulaire en favorisant la réutilisation intelligente des ressources et en renforçant la durabilité à long terme de l'agriculture en haute montagne.

En somme, les éléments issus de cette étude offrent des perspectives intéressantes pour la gestion des ressources naturelles dans les élevages transhumants. L'interaction complexe entre la production de fumier, sa récupération potentielle et son impact sur diverses cultures ouvre la voie à de nouvelles questions de recherche, tout en soulignant l'importance fondamentale des azibs dans la circulation des éléments nutritifs essentiels au sein du territoire.

Le fumier est un élément précieux en agriculture, car il est riche en éléments nutritifs essentiels pour les plantes. Ainsi, le propriétaire de l'azib collecte le fumier et l'utilise comme engrais naturel pour ses propres terres agricoles ou pâturages. Cela contribue à améliorer la fertilité des sols et à favoriser des récoltes plus abondantes. De plus, le fumier peut être vendu ou échangé. Certains propriétaires d'azibs choisissent de commercialiser le fumier, car il est demandé par d'autres agriculteurs ou éleveurs qui souhaitent améliorer la fertilité de leurs terres. Cela peut être une source de revenus supplémentaires pour le propriétaire de l'azib.

Cependant, il convient de noter que le transport du fumier peut poser des défis logistiques. Les distances entre les azibs et les parcelles agricoles peuvent être importantes, ce qui rend difficile le transport de tout le fumier produit. Par conséquent, une partie du fumier peut rester inutilisée, soit parce qu'il n'est pas transporté, soit parce que le propriétaire de l'azib considère que le voyage n'en vaut pas la peine économiquement.

## **II. Analyse en composantes principales**

Avant de réaliser une ACP pour mieux décrire les différents éléments collectés durant le travail de terrain, il est primordial de vérifier ses conditions d'application ; d'abord l'indice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) qui permet de mesurer l'importance des corrélations partielles pour la matrice de corrélation globale. L'indice KMO devrait s'approcher le plus possible de 1, pour s'assurer que les corrélations sont significatives. Par la suite, nous devrions effectuer le test de sphéricité de Bartlett, qui permet d'évaluer l'hypothèse nulle selon laquelle toutes les corrélations sont égales à zéro. Enfin, il y a le déterminant de R qui doit être le plus petit possible pour une meilleure corrélation

La vérification de ces trois conditions sur le logiciel SPSS a permis d'obtenir un indice KMO de 0,786 ce qui montre que les corrélations sont moyennes. Pour le test de sphéricité de Bartlett, il est très hautement significatif ( $p < 0,05$ ) donc il y a suffisamment de corrélations entre les variables pour faire l'analyse. Quant au déterminant de R, il a une valeur de 0,19. Par conséquent, le recours à l'ACP est suffisamment justifié.

L'ACP a été réalisée sur la base des variables listées dans le tableau 9.

**Tableau 9. Variables prises en considération dans l'ACP**

Libellé long	Libellé court
UGB totales	UGBT
UFL achetées	UFLA
SAU fourrages /SAU Totale	SFT
Fumier Total	FT
UFL totale produite	UFLT
Bilan UFL distribuées - Besoins en UFL	BE

## 1. Le choix du plan

Les valeurs propres mesurent la quantité de variance expliquée par chaque axe principal. Elles permettent la détermination du nombre de composantes à prendre en considération dans l'analyse. Ainsi, en retenant les deux premières composantes principales, jusqu'à 63,6 % de la variance totale est expliquée, ce qui est un pourcentage acceptable pour poursuivre l'interprétation (Tableau 10).

**Tableau 10. Valeurs propres et pourcentage de variance totale cumulée des 3 premières composantes**

	Dim.1	Dim.2	Dim.3
Valeurs propres initiales	2,9	0,9	0,7
Pourcentage de la variance (%)	48,5	15,0	12,3
Pourcentage de la variance cumulée (%)	48,5	63,6	75,9

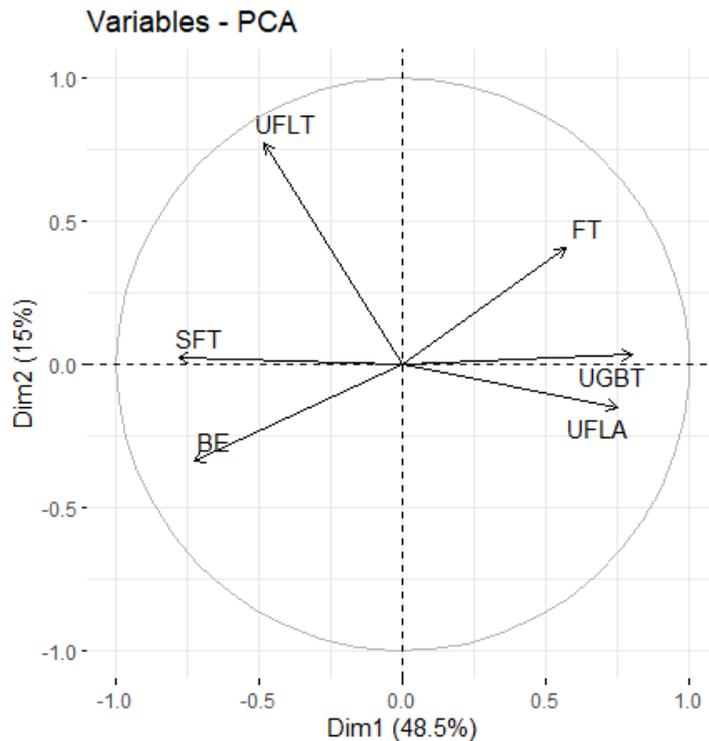
## 2. Les contributions des variables aux axes principaux

Selon le cercle de corrélation, les deux premiers axes factoriels sont définis comme suit : élevage hors sol avec la recherche de fumier (axe 1) et autonomie fourragère (axe 2).

Sur le premier axe, '**Elevage hors sol avec la recherche de fumier**', les variables UGBT et UFLA sont positivement corrélées. Ces deux variables varient conjointement dans la même direction le long de cette dimension (Figure 21). En revanche, les variables SFT et BE sont négativement corrélées avec cette première dimension, suggérant qu'elles évoluent ensemble mais dans la direction opposée.

Concernant le second axe, '**Autonomie fourragère**', la variable UFLT montre une forte corrélation positive et est bien représentée sur cette dimension. Quant à la variable FT, elle présente une corrélation positive avec les deux dimensions. Cependant, sa corrélation est légèrement plus prononcée avec le premier axe qu'avec le second.

Cette analyse permet de mieux comprendre les interrelations entre les variables et leur influence sur les systèmes d'élevage et l'autonomie alimentaire.



**Figure 21. Corrélation des variables sur le premier plan factoriel de l'ACP**

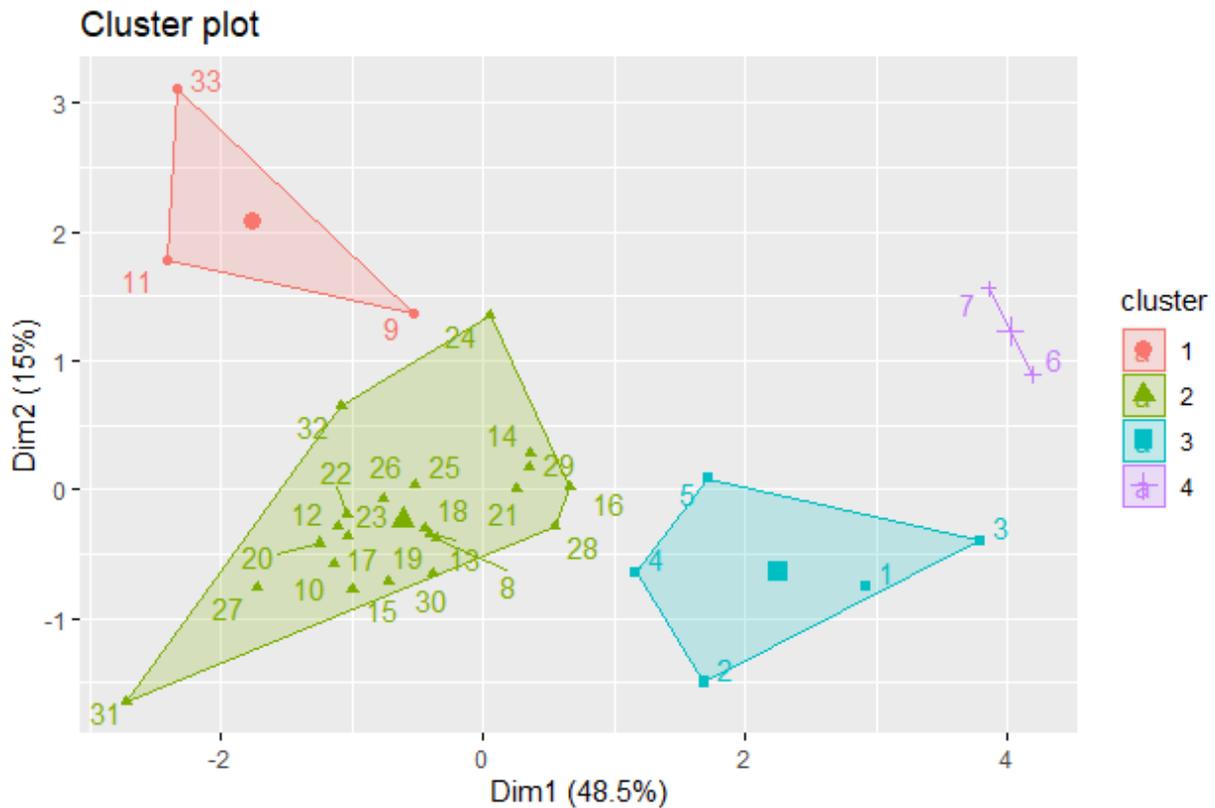
Dans le cadre d'une première tentative de typologie basée sur les mêmes variables, nous avons identifié deux classes distinctes. Toutefois, deux exploitations se sont démarquées nettement du reste. Il s'agit des exploitations n°35 et 13, qui ont des caractéristiques très distinctes, présentées ci-contre :

**exploitation 35**, avec une superficie totale de 3 hectares subdivisée en 8 parcelles distinctes, elle présente une configuration unique par rapport au contexte local. Une grande partie de cette superficie, soit 80%, est dédiée à la culture de pommiers, avec un nombre substantiel de

2 500 arbres. Par contraste, les cultures fourragères n'occupent que 27 % de la surface totale. Le cheptel de cette exploitation est relativement petit, avec une taille de 2,13 UGB, ce qui entraîne une production limitée de fumier. Pour compenser cette insuffisance, l'exploitation doit acheter du fumier, en quantité supérieure à la moyenne des autres exploitations - 15 fois plus -, précisément ;

**exploitation 13**, elle est subdivisée en 18 parcelles distinctes, s'étendant sur une superficie totale de 2,5 hectares. 40 % de cette surface est dédiée à la culture de pommiers, avec un nombre de 250 arbres. Les cultures fourragères occupent 22 % de la surface totale, tandis que la culture de pommes de terre et de blé occupe le reste. Cette exploitation compte 11,46 UGB, comprenant 9 UGB ovines et 2,46 UGB caprines. Les animaux pâturent le matin et sont ramenés à l'exploitation l'après-midi. Etant donné l'important effectif animal, l'exploitation achète des aliments sur le marché pour satisfaire leurs besoins nutritionnels.

Suite à la mise à l'écart de ces deux exploitations aux caractéristiques très distinctes du reste, une typologie a permis de définir quatre types (Figure 22).



**Figure 22. Représentation graphique des 4 types sur les deux premiers axes factoriels**

### **3. Présentation et description des types**

#### **Type 1 : Élevage sédentaire à haute productivité fourragère (N = 3)**

Le type 1 est caractérisé par un bilan énergétique présentant un besoin important en UFL. Ceci est représentatif d'exploitations ayant une production fourragère élevée et une gestion efficace des ressources. Une production d'UFL plus élevée que la moyenne est indiquée par une grande surface dédiée aux cultures fourragères par rapport à la surface totale. Les exploitations appartenant à ce type se situent dans la zone d'Oussikis et de Taadadat, au sein de la commune de M'semrir, située en amont de la vallée de Dadés. De plus, ces exploitations présentent une population de bétail relativement petite par rapport à leur production de fourrage, indiquant une bonne autonomie fourragère. Cette catégorie d'exploitations a la capacité de jouer un rôle crucial dans l'économie locale, en fournissant des ressources fourragères excédentaires à d'autres exploitations qui éprouvent un déficit en UFL. Ainsi, elles contribuent à l'économie circulaire en redistribuant l'excédent de production et en soutenant d'autres exploitations qui peuvent avoir des besoins plus importants en ressources fourragères.

#### **Type 2 : Élevage sédentaire à bilan énergétique élevé et faible densité (N = 23)**

Le Type 2, très majoritaire (23 des 35 exploitations) se distingue par un bilan énergétique important, mais avec un nombre d'UGB inférieur à la moyenne. Ces exploitations présentent une production fourragère abondante par rapport à la taille de leur troupeau. Ayant peu d'animaux à nourrir, comme en témoigne le nombre d'UGB inférieur à la moyenne, ces exploitations disposent de ressources alimentaires, bien que leur production endogène puisse être moindre comparativement aux exploitations de Type 1. Par conséquent, ces exploitations n'ont pas besoin d'acquérir de grandes quantités d'aliments, en particulier de fourrage, mais elles complètent leurs besoins par l'achat d'aliments concentrés. Il y a là typiquement une volonté de recourir en priorité à des ressources alimentaires locales cultivées, qui elles-mêmes bénéficient du fumier, en plein accord avec les préceptes de l'économie circulaire.

### **Type 3 : Élevage transhumant avec compensation organique non collectée (N = 5)**

Par opposition au type 2, ce troisième type est caractérisé par des transhumants qui dépendent fortement de l'achat d'aliments supplémentaires pendant les mois hivernaux, tout en pratiquant la transhumance tout le long de l'année. Cette logique de production est marquée par un aléa important, en lien à la disponibilité des ressources pastorales, elles-mêmes dépendantes des caractéristiques du climat. Le cheptel est de taille importante, dominé par les espèces ovines et caprines. En raison de sa nature intrinsèquement liée aux parcours, ce type d'exploitation affiche un Bilan Énergétique significativement inférieur par rapport aux autres types. Ces transhumants sont situés dans les régions d'Aït Hdidou (Commune de Tilmi) et d'Oussikis (Commune de M'semrir). Ces élevages sont localisés aux extrémités des douars, ce qui correspond aux itinéraires vers les parcours. De plus, elles sont situées à des altitudes supérieures à celles des autres types d'exploitations. Le fumier produit par ces transhumants est laissé au propriétaire de l'azib comme forme de compensation pour sa location. Cette pratique pourrait représenter une forme de symbiose, où les propriétaires des « azibs » bénéficient de l'apport en matière organique qui enrichit le sol, tandis que les éleveurs transhumants bénéficient d'un lieu pour abriter leur bétail au sein des pâturages naturels.

### **Type 4 : Élevage transhumant avec collecte de fumier (N = 2)**

Le Type 4 se différencie du Type 3 par l'existence de ses propres azibs. Dans ces structures, le fumier est collecté et peut être utilisé soit sur les terres de l'éleveur, soit vendu aux agriculteurs comme amendement organique pour le sol. Ces deux élevages transhumants se localisent à Aït Hdidou contre le troisième type qui sont situés à la fois dans la commune de Tilmi à Aït Hdidou et dans la commune de M'semrir à Oussikis.

Le Type 4 est caractérisé par des systèmes de transhumance qui nécessitent l'achat d'aliments supplémentaires durant les mois hivernaux, même si cette dépendance est moins marquée que dans le Type 3. Cela est d'autant plus notable en présence d'un nombre élevé d'UGB. La transhumance, dans ce type, est une pratique constante à travers l'année et peut même s'étendre jusqu'à la province de Tiznit (distante de près de 500 km). Cette observation est corroborée par les résultats de Srour (2006) au Liban, qui souligne que la transhumance annuelle reste fréquente lorsque les cheptels sont conséquents, sans égard pour l'état des parcours de proximité. Cette

stratégie contribue non seulement à la conservation des ressources fourragères mais permet aussi d'exploiter de manière efficace les ressources naturelles disponibles, élément distinctif d'une économie circulaire.

# **Conclusion**

L'étude de la contribution de l'élevage à l'instauration des principes d'une économie circulaire dans le Haut Atlas occidental était le principal objectif de ce travail. Pour ce faire, la quantification des flux entre diverses phases de production, qu'elles soient animales ou végétales dans une zone d'oasis de montagne caractérisée par des changements structurels et climatiques, a été réalisée.

Les résultats mettent en évidence la complexité remarquable des systèmes de production dans la région étudiée. Les activités d'élevage et de cultures sont étroitement imbriquées, et des associations de cultures sont présentes dans la majorité des parcelles. Cette interconnexion entre l'élevage et les cultures montre une diversification des sources de revenus et une optimisation de l'usage des ressources disponibles. En parallèle, il est essentiel de prendre en compte la fragilité de ces agro-écosystèmes confrontés à des changements structurels et climatiques. En effet, les oasis de montagne du Haut Atlas central, font face à des défis environnementaux croissants, en grande partie issus du changement climatique. L'impact de ces changements se traduit directement par des altérations dans la productivité des terres cultivées et des pâturages.

En outre, il est important de mentionner les résultats liés au recyclage du fumier et à la valorisation des coproduits des cultures par l'élevage. Les exploitations affichent une moyenne de 23 445 kg/ha de fumier endogène épandu, tandis que la production moyenne de paille atteint 4 120 kg par hectare. Parallèlement, les évaluations sur le terrain révèlent un écart de triage de pommes de 1,5 kg par arbre, ainsi qu'une biomasse moyenne de 2 861 kg/ha produite par les adventices. La méthode de travail adoptée pour établir une typologie des systèmes d'élevage et de l'usage des ressources dans une économie de type circulaire (fourrages, coproduits et fumier) s'est basée sur un échantillonnage en boule de neige. Cette méthode présente l'avantage d'étudier une population mère disparate : dans ce précis, des exploitations d'élevage sédentaire et transhumant.

La typologie établie a permis de ressortir quatre classes :

- élevage sédentaire à haute productivité fourragère ;
- élevage sédentaire à bilan énergétique élevé et faible densité;
- élevage transhumant avec compensation organique non collectée ;
- élevage transhumant avec collecte du fumier et dépendance alimentaire externe.

Les enclos de haute montagne ou « azib » ont un rôle multifonctionnel crucial au sein des systèmes agraires en montagne. Au-delà de leur utilisation pour le bétail pendant les périodes de transhumance, ces enceintes ont une signification profonde dans la gestion agro-pastorale. Elles offrent un abri vital face aux conditions climatiques rigoureuses et facilitent la concentration du fumier en tant qu'engrais précieux pour une utilisation ultérieure. Les azibs incarnent une symbiose entre la protection du cheptel, la préservation des ressources essentielles et la gestion durable des terres d'altitude élevée. Face aux changements climatiques, ces structures présentent des opportunités adaptatives qui renforcent la résilience des systèmes agraires. Grâce à leur polyvalence et à leur contribution à la circularité des flux agricoles, les azibs sont des éléments clés pour mettre en œuvre une économie circulaire au sein des oasis de montagne.

En somme, l'économie circulaire trouve une application pertinente et fructueuse dans le secteur de l'élevage, en particulier à la lumière des enjeux mondiaux tels que l'inflation et les fluctuations des marchés. L'autonomie fourragère démontre son rôle crucial en réduisant la vulnérabilité aux variations des prix des fourrages et des concentrés, ce qui renforce la stabilité des exploitations. De plus, la valeur indéniable de la composante pastorale se révèle comme une source de résilience, offrant une solution à la contrainte foncière tout en préservant la vitalité des régions montagneuses. Bien que l'engagement des transhumants soit conséquent, il garantit un accès optimal aux ressources pastorales et contribue à une utilisation efficace de l'eau, ressource devenue essentielle et rare. Ainsi, l'intégration de principes économiques circulaires dans l'élevage non seulement renforce sa durabilité, mais reflète une réponse éclairée aux défis actuels et futurs de notre économie mondiale.

Les oasis de montagne sont amenées à être confrontées dans le futur à des perturbations majeures dans les régimes de précipitations et de températures. Face à ces changements, il est crucial d'anticiper les conséquences sur les systèmes agraires. Ci-contre, quelques recommandations pratiques issues des résultats de cette étude sont formulées :

1. encourager les éleveurs à adopter le compostage du fumier en tant qu'approche durable pour gérer les déchets organiques. Le compostage permet d'augmenter l'efficacité d'usage des nutriments améliorant ainsi la santé des sols, et favorisant la productivité agricole ;

2. mettre en place des programmes d'incitations à la construction des enclos de haute montagne. Cela encouragerait les éleveurs à maintenir cette pratique traditionnelle tout en garantissant leur durabilité et leur fonctionnalité. Ces enclos pourraient offrir des espaces de pâturage alternatifs pendant les périodes estivales chaudes, en cas d'augmentation des températures due au changement climatique.
3. œuvrer à renforcer le couplage des cultures et de l'élevage, car cela garantit les principes de l'agro-biodiversité et peut assurer une résilience contre les défis du changement climatique.

L'économie circulaire joue un rôle crucial dans l'adaptation aux changements climatiques en favorisant l'utilisation efficace des ressources et en promouvant des pratiques agricoles durables. En adoptant ces recommandations et en continuant à explorer les synergies entre l'agriculture, l'élevage et la gestion des ressources, il est possible de forger un avenir plus résilient pour les communautés agricoles et les écosystèmes, tout en répondant aux défis urgents posés par le changement climatique.

## **Références bibliographiques**

- **Ait-El-Mokhtar M., Boutasknit A., Ben-Laouane R., Anli M., El Amerany F., Toubali S., & Meddich A.** (2022). Vulnérabilité de l'agriculture oasienne au changement climatique au Maroc. *Research Anthology on Environmental and Societal Impacts of Climate Change* 1195-1219.
- **Alam K.,** (2015). Farmers' adaptation to water scarcity in drought-prone environments: a case study of Rajshahi District, Bangladesh. *Agric. Water Manage.* 148, 196–206. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.011>
- **Aourchid S., & Raiah D.** (2015). Evaluation de l'autonomie alimentaire du bovin laitier au niveau de la ferme EURL SEA de Draa Ben Khedda à Tizi-Ouzou (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **Audouin L.** (1991) – Rôle de l'azote et du phosphore dans la pollution animale. *Rev. Sc. Technique. Aff. Int. Épizotie*, 10 (3) : 629-654.
- **Aurez V., & Georgeault L.** (2019). Économie circulaire : système économique et finitude des ressources. *De Boeck Supérieur*.
- **Aurèlie B., Esmeralda R., Sophie R.** (2012). L'autonomie alimentaire dans les élevages Centre National des Ressources en Agriculture Biologique, [https://abiodoc.docressources.fr/doc\\_num.php?explnum\\_id=1339](https://abiodoc.docressources.fr/doc_num.php?explnum_id=1339)
- **Bascou P. D.** (2010). Analyse du fonctionnement des exploitations polyculture élevage à travers la mise en place d'une démarche d'accompagnement des producteurs. *Montpellier SupAgro*. <https://agritrop.cirad.fr/570625/>
- **Battesti V.** (2005). Jardins au désert : évolution des pratiques et savoirs oasiens : Jérid tunisien. IRD éditions.
- **Benouadah S., Oulbachir K.** (2022). Contribution to the valorization of three breeding by products-preliminary estimates. *Ukrainian Journal of Ecology*. 12(1):25-30 DOI:10.15421/2022\_331
- **Benouadah S., Oulbachir K., Benaichata L., Miara MD., Labdelli F., Rezzoug W.** (2020). Impact of organic amendments on soil physical properties under semi-arid climate (Tiaret, Algeria). *Journal Fundamental Applied Sciences*, 12:1386,1403. DOI: 10.4314/jfas.v12i3.25.

- **Bourbouze A.** (1999). Gestion de la mobilité et résistance des organisations pastorales des éleveurs du Haut Atlas marocain face aux transformations du contexte pastoral maghrébin. *Niamir Fuller*.  
[http://terramed.iamm.fr/images/publications/6\\_gestion\\_mobilite\\_resistance.pdf](http://terramed.iamm.fr/images/publications/6_gestion_mobilite_resistance.pdf)
- **Broderick G.A., Faciola A.P., Armentano L.E.** (2015). Replacing Dietary Soybean Meal with Canola Meal Improves Production and Efficiency of lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 5672–5687. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9563>
- **Carvalho P.C., Peterson C.A., Nunes P.A., Martins A.P., Filho W., Bertolazi V.T., Anghinoni I.** (2018). Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification. *Journal of Animal Science*. 96(8). 3513–3525 doi:10.1093/jas/sky357
- **Cecchi G., Wint W., Shaw A., Marletta A., Mattioli R., Robinson T.** (2010). Geographic distribution and environmental characterization of livestock production systems in Eastern Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 135(1), 981 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.08.011>.
- **Chafai El Alaoui A.** (2003). Guide des engrais et de la fertilisation. Ecole Nationale d'Agriculture, Meknès, Maroc, 326 p. [https://www.researchgate.net/profile/Mohamed-Sabir/publication/344572636\\_Chapitre\\_14-Sabir-Restauration\\_Sols\\_Cultives\\_et\\_Elevage/links/5f80c171299bf1b53e1b7d56/Chapitre-14-Sabir-Restauration-Sols-Cultives-et-Elevage.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mohamed-Sabir/publication/344572636_Chapitre_14-Sabir-Restauration_Sols_Cultives_et_Elevage/links/5f80c171299bf1b53e1b7d56/Chapitre-14-Sabir-Restauration-Sols-Cultives-et-Elevage.pdf)
- **Collard F.** (2020). L'économie circulaire. *Courrier hebdomadaire du CRISP*, 2456(10), 5-72. <https://www.cairn.info/revue-courrier-hebdomadaire-du-crisp-2020-10-page-5.htm>
- **Dedieu, B. Aubin, J. Duteurtre, G.Alexandre, G.Vayssières, J.Bommel, P.Ickowicz, A.** (2011). Conception et évaluation de systèmes d'élevage durables en régions chaudes. *INRA Productions Animales*, 24(1), 113-128. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2011.24.1.3244>
- **Devendra C., and Thomas D.** (2002). Crop-animal interactions in mixed farming systems in Asia. *Agricultural Systems* 71, 27–40. doi: 10.1016/ S0308-521X(01)00034-8
- **Dou Z., Toth J. D., & Westendorf M. L.** (2018). Food waste for livestock feeding: Feasibility, safety, and sustainability implications. *Global Food Security*, 17, 154-161. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.12.003>

- **Duque-Acevedo M., Belmonte-Ureña L. J., Cortés-García F.J., & Camacho-Ferre F.** (2020). Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. *Global Ecology and Conservation*, 22. doi:10.1016/j.gecco.2020.e00902
- **Duque-Acevedo M., Belmonte-Ureña L. J., Yakovleva N., & Camacho-Ferre F.** (2020). Analysis of the Circular Economic Production Models and Their Approach in Agriculture and Agricultural Waste Biomass Management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 9549. doi:10.3390/ijerph17249549
- **Eeswaran R., Nejadhashemi A. P., Faye A., Min, D., Prasad P. V., & Ciampitti I. A.** (2022). Current and future challenges and opportunities for livestock farming in west africa: perspectives from the case of senegal. *Agronomy*, 12(8), 1818. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081818>
- **El Janati M., Akkal-Corfini N., Bouaziz A., Oukarroum A., Robin P., Sabri A., Chikhaoui M., Thomas Z.,** 2021. Benefits of Circular Agriculture for Cropping Systems and Soil Fertility in Oases. *Sustainability*, 13, 4713. <https://doi.org/10.3390/su13094713>
- **El Khoumsi W., Hammani A., Kuper M., & Bouaziz A.** (2014). Deterioration of groundwater in arid environments: what impact in oasis dynamics? Case study of Tafilalet, Morocco. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, 8(11), 764-770.
- **El Mokhtar M., A., Laouane R.B., Anli M., Boutasknit A., Fakhech A., Wahbi S., & Meddich A.** (2022). Climate change and its impacts on oases ecosystem in Morocco. *In Research Anthology on Environmental and Societal Impacts of Climate Change* 1103-1131. DOI: 10.4018/978-1-6684-3686-8.ch054
- **FAO** (2018). L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde (FAO). <https://www.fao.org/3/cc0640fr/cc0640fr.pdf>
- **Ferraton N., & Touzard I.** (2009). Comprendre l'agriculture familiale : diagnostic des systèmes de production. *Éditions Quae*. <http://digital.casalini.it/9782759203406>
- **Friggens N.C., Thorup V.M., & Edwards D.** (2011). Estimation à la ferme du bilan énergétique des vaches laitières à l'aide des mesures fréquentes de poids vif et de note d'état corporel. *Renc. Rech. Rum*, 39-42. [https://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte\\_9\\_aide\\_decision\\_Friggens.pdf](https://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte_9_aide_decision_Friggens.pdf)

- **Ganry F., & Oliver R.** (2005). La valorisation agricole des fumiers et des composts en Afrique soudano-sahélienne: enjeu et contrainte. *Agriculture et Développement*. [https://agritrop.cirad.fr/531850/1/document\\_531850.pdf](https://agritrop.cirad.fr/531850/1/document_531850.pdf)
- **Ganry F., & Thuriès L.** (2017). Chapitre 13. Intérêt des fumiers pour restaurer la fertilité des sols en zone semi-aride d’Afrique. In Roose, É. (Ed.), *Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens : Contribution à l'agroécologie*. IRD Éditions. doi : 10.4000/books.irdeditions.24249
- **Gutiérrez D., Sandra M., Valentina S., Moustapha B., Ricardo P., Patricia B., et Fidel L.**(2008). « Proximate Composition, Mineral Content, and Antioxidant Properties of 14 Mexican Weeds Used as Fodder ». *Weed Biology and Management* 8(4) . 291-96. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2008.00307.x>
- **Havet A., Coquil X., Fiorelli J.L., Gibon A., Martel G., Roche B., et Dedieu B.** (2014). Interrelations cultures-élevage dans les systèmes de polyculture élevage : Quelles capacités adaptatives à différents pas de temps pour accroître l’autonomie fourragère?. *Innovations Agronomiques*, 39, 99-111.
- **Hiel, Marie P., Marie C., Nargish P., Sophie B., Florine D., Aboukacem L., Gilles C., Aurore D., et Sarah G.** (2016). « Crop Residue Management in Arable Cropping Systems under a Temperate Climate. Part 2: Soil Physical Properties and Crop Production. A Review ». *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 20 (1), p. 245-256. <https://hdl.handle.net/2268/196100>
- **Hilimire K.** (2011). Integrated Crop/Livestock Agriculture in the United States: A Review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 35(4), 376–393. doi:10.1080/10440046.2011.562042
- **Huber G., & Schaub C.** (2011). La fertilité des sols : L’importance de la matière organique. *Agriculture et terroir, chambre d'agriculture Bas Rhin*. [https://aube-haute-marne.chambresagriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/National/FAL\\_commun/publications/Grand-Est/67\\_fertilite\\_des\\_sols\\_importance\\_matiere\\_organique\\_2011.pdf](https://aube-haute-marne.chambresagriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Grand-Est/67_fertilite_des_sols_importance_matiere_organique_2011.pdf)
- **Hong Z., Jian-Wei W., Qiu-Hong Z., Yun-Jiang Y.**(2003). A Preliminary Study of Oasis Evolution in the Tarim Basin, Xinjiang, China. *J. Arid Environ.*, 55, 545-553. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(02\)00283-5](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(02)00283-5)
- **Janati A.** (1990). Les cultures fourragères dans les oasis. *Opt. Med*, 1, 164-169. <https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Culture-fourrages/Les%20cultures%20fourrag%C3%A8res%20dans%20les%20oasis-CI901493.pdf>

- **Karmaoui A., Messouli M., Khebiza Y.M., & Ifaadassan I.** (2014). Environmental vulnerability to climate change and anthropogenic impacts in dryland,(pilot study: Middle Draa Valley, South Morocco). *Journal of Earth Science & Climatic Change*, (11), 1.
- **Keulen, & Schiere J.** (2004). Crop-livestock systems: old wine in new bottles. [https://www.researchgate.net/publication/40121882\\_Croplivestock\\_systems\\_old\\_wine\\_in\\_new\\_bottles](https://www.researchgate.net/publication/40121882_Croplivestock_systems_old_wine_in_new_bottles)
- **Kirchherr J., Reike D., & Hekkert M.** (2017). Conceptualizing the circular economy : An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- **Klein H.D., Rippstein G., Huguenin J., Toutain B., & Guerin H.** (2014). Les cultures fourragères (p. 264). *éditions Quae*. <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/23942>
- **Lamqadem A., Saber H., & Pradhan B.** (2018). Quantitative assessment of desertification in an arid Oasis using remote sensing data and spectral index techniques. *RemoteSensing*, 10(12), 1862. doi:10.3390/rs10121862
- **Lô M., & Amaye S.Y.** (2022). Covid-19 et crise en Ukraine : quels impacts sur la marche de l'Afrique vers l'émergence économique et sociale durable ? [https://www.policycenter.ma/sites/default/files/2022-08/PP\\_10-22\\_Moubarack-Lo.pdf](https://www.policycenter.ma/sites/default/files/2022-08/PP_10-22_Moubarack-Lo.pdf)
- **Malomo G.A., Madugu A.S., Bolu S.A.** (2018). Sustainable animal manure management strategies and practices. *Agricultural Waste and Residues*.8. 119 - 137.
- **Martin G., Martin C.R., Duru M.** (2012). Farming system design to feed the changing world. A review. *Agronomy for SustainableDevelopment*, 33(1), 131–149. doi:10.1007/s13593-011-0075-4
- **Moraine M., Therond O., Leterme P., & Duru M.** (2012). Un cadre conceptuel pour l'intégration agroécologique de systèmes combinant culture et élevage. *Innovations agronomiques*, 22, 101-115.
- **Moraine M.** (2015). Conception et évaluation de systèmes de production intégrant culture et élevage à l'échelle du territoire. <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00003077/>
- **Nardone A., Ronchi B., Lacetera N., Ranieri M.S., Bernabucci U.,**(2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1-3) <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>, 57-69.

- **Ndambi O.A., Pelster D.E., Owino J.O., De Buissonje F., & Vellinga, T.** (2019). Manure management practices and policies in sub-Saharan Africa: implications on manure quality as a fertilizer. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 29. doi : <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00029>
- **Newton P., Civita N., Frankel G.L., Bartel K., Johns C.** (2020) What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes. *Frontiers in Sustainability*, 4. doi: 10.3389/fsufs.2020.577723
- **Ntawuhiganayo E.B., Nijman R.E., Geme T., Negesa D., Nahimana S.** (2023) Assessing the adoption of regenerative agricultural practices in Eastern Africa. *Frontiers in Sustainability*, 4. doi: 10.3389/frsus.2023.1105846
- **O'Hara J., & Low S.** (2016). The Influence of Metropolitan Statistical Areas on Direct-to-consumer Agricultural Sales of Local Food in the Northeast. *Agricultural and Resource Economics Review*, 45(3), 539-562. doi:10.1017/age.2016.7
- **Oldfield T., Ward S., White E., & Holden N.** (2016). The « circular economy » applied to the agriculture (livestock production) sector – discussion paper. *DG Agriculture and Rural Development*
- **Pain B. & Menzi H.** (2011). Glossary of terms on livestock and manure management. *2nd ed. RAMIRAN* (Recycling Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture Network).
- **Philippe D., Marion T., Bernard B.** (2012). Systèmes de production durables en zones sèches. <https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport-version-complete.pdf>
- **Ramarovahoaka N., Vigne M., Fanjaniaina M. L., Randrianarisoa A. V., Nivonirina N.A., Andriamananjara A., & Becquer T.** (2023). Relations entre structure des exploitations et gestion des effluents d'élevage sur les Hautes Terres de Madagascar. *Cahiers Agricultures*, 32, 20. <https://doi.org/10.1051/cagri/2023014>
- **Ramirez J., McCabe B., Jensen P. D., Speight R., Harrison M., Berg L. van den, & O'Hara, I.** (2021). Wastes to profit: A circular economy approach to value-addition in livestock industries. *Animal Production Science*, 61(6), 541-550. <https://doi.org/10.1071/AN20400>
- **Reh L.** (2013). Process engineering in circular economy. *Particuology*, 11(2), 119–133. doi:10.1016/j.partic.2012.11.001

- **Reilly J.** (2015). Energie et développement dans les pays émergents. *Revue d'économie du développement*, (3), 19-41.
- **Rochdane S., Bounoua L., Zhang P., Imhoff M., Messouli M., & YacoubiKhebiza M.** (2014). Combining satellite data and models to assess vulnerability to climate change and its impact on food security in Morocco. *Sustainability*, 6(4), 1729–1746. doi:10.3390/s6041729
- **Roy S., & Kashem M. A.** (2014). Effects of organic manures in changes of some soil properties at different incubation periods. *Open Journal of Soil Science* .4. 81–86. doi:10.4236/ojss.2014.43011
- **Rufino M.C, Rowe E.C, Delve R.J., & Giller K.E.** (2006). Efficacité du cycle de l'azote grâce à des systèmes africains de culture et d'élevage pauvres en ressources. *Agriculture, écosystèmes & environnement*, 112 (4), 261-282.
- **Sabir M., & Roose É.** (2017). Chapitre 14. Restauration des sols cultivés mais dégradation des parcours par l'élevage au Maroc. In Roose, É. (Ed.), Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens : Contribution à l'agroécologie. *IRD Éditions*. doi :10.4000/books.irdeditions.24258
- **Sauvé S., Normandin D., & McDonald M.** (2016). *Économie circulaire*. Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services. <https://pum.umontreal.ca/catalogue/leconomie-circulaire/fichiers/e20fa59f-c160-4725-9794-4252da7841b0/9782760636767.pdf>
- **Séré C., Steinfeld H., & Groenewold J.** (1996). *World livestock production systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **Sims J.T. & Maguire R.O.** (2005). Manure management. In: Hillel, D. Encyclopedia of Soils in the Environment. *Oxford: Elsevier*, p. 402 410.
- **Smil Vaclav.**(1999). « Crop Residues: Agriculture's Largest Harvest ». *BioScience* 49,4 : 299- 308. <https://doi.org/10.2307/1313613>.
- **Soudi B., Naâman F., Chiang C.N.** (2000) – « Problématique de gestion de la matière organique des sols : cas des périmètres irrigués du Tadla et des Doukkala ». *Séminaire Intensification agricole et qualité des sols et des eaux*, Rabat, 2-3 novembre 2000, 6 p <https://agrimaroc.net/intensificationagricole/04-soudi.pdf>
- **Sraïri M.T., M'ghar F.A., Benidir M., & Bengoumi M.** (2017). Analyse typologique de la diversité et des performances de l'élevage oasien. *Cahiers Agricultures*, 26(1), 26-37. DOI: <https://doi.org/10.1051/cagri/2017002>

- **Sraïri M.T., Mansour S. Benidir M., Bengoumi M., Alary V.** (2019). How does livestock contribute to the efficiency of the oases' farming systems? *Jordan Journal of Agricultural Sciences*. 15, 1-14. <https://journals.ju.edu.jo/JJAS/article/viewFile/15331/12020?target=blank>
- **Sraïri M.T., Ouidat L.** (2022). Understanding diversified oasis farms' economic performances through an analysis of labor uses and their relation to the invested capital. *Journal of Oasis Agriculture and Sustainable Development*. 4(1). 18-32. <https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport-version-complete.pdf>
- **Sraïri M.T., Naqach Y.**(2022). Comparing the uses of available labor and capital in diversified farming systems in Drâa oases (Morocco). *New Medit*. 21-34. [https://newmedit.iamb.it/bup/wp-content/uploads/2022/07/126-6-NEW\\_MEDIT-5\\_Special-Issue-2022-02-Srairi.pdf](https://newmedit.iamb.it/bup/wp-content/uploads/2022/07/126-6-NEW_MEDIT-5_Special-Issue-2022-02-Srairi.pdf)
- **Srour G.** (2006). Amélioration durable de l'élevage des petits ruminants (Doctoral dissertation, Thèse doctorat, INPL Nancy, France, 219p).
- **Stahel W. R.** (2016). The circular economy. *Nature*, 531(7595), 435–438. doi:10.1038/531435a
- **Sumberg J.**, (2002). Livestock nutrition and foodstuff research in Africa. When is a nutritional constraint not a priority research problem?. *Animal Science* .75 (3), 332–338
- **Sumberg J.** (2003). Toward a dis-aggregated view of crop–livestock integration in Western Africa. *Land use policy*, 20(3), 253-264. doi : 10.1016/S0264-8377(03)00021-8
- **Teague W.R., Apfelbaum S., Lal R. Kreuter U.P., Rowntree J., Davies C.A., Conser R., Rasmussen M., Hatfield J., Wang T., Wang F., Byck P.** (2016). The role of ruminants in reducing agriculture's carbon footprint in North America. *Journal of Soil and Water Conservation*, 71(2), 156-164. doi :10.2489/jswc.71.2.156
- **Termeer C., Feindt P., Karpouzoglou T., Poppe K., Hofstede G.J, Kramer K., &Meuwissen M.** (2019). Institutions et résilience des systèmes de production biosourcés : le cas historique de l'intensification de l'élevage aux Pays-Bas. *Écologie et société* , 24 (4).
- **Thornton P.K.** (2010). Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2853–2867. doi:10.1098/rstb.2010.0134

- **Toutain G., Dollé V., & Ferry M.** (1989). Situation des systèmes oasiens en régions chaudes. *Les Cahiers de la recherche développement*, (22), 3-14.
- **Undersander D., Mertens D.R. and Thiex N.** (1993). Forage analyses procedures. *National Forage Testing Association. Omaha, NE, USA.*
- **Van Buren N., Demmers M., Van der Heijden R., & Witlox F.** (2016). Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments. *Sustainability*, 8(7), 647. doi:10.3390/su8070647
- **Velasco M.J.F., Aznar S.J. A., López F.B., & Román S.I.M.** (2022). Circular economy in agriculture. An analysis of the state of research based on the life cycle. *Sustainable Production and Consumption*, 34, 257-270. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.017>
- **Vigne M., Achard P., Alison C., Castanier C., Choisis J.P., Conrozier R., & Vayssières J.** (2021). Une agronomie clinique et territoriale pour accompagner la transition vers une économie circulaire autour de l'agriculture: mise à l'épreuve et enseignements du projet GABiR à La Réunion. <https://doi.org/10.54800/bir974>
- **Vilain L.** (2008). La méthode IDEA: indicateurs de durabilité des exploitations agricoles. *Educagri éditions.*
- **Dollé V.** (1986). L'agriculture oasienne : une association judicieuse. Elevage-culture irriguée sous palmiers dattiers pour valoriser l'eau, ressource rare. *Les Cahiers De La Recherche Développement*, (9-10), 70–73. Consulté à l'adresse <https://revues.cirad.fr/index.php/crd/article/view/36489>
- **Wang Y., Majak W., McAllister T.A.** (2012). Frothy bloat in ruminants: Cause, occurrence, and mitigation strategies. *Animal Feed Science and Technology*, 172(1-2), 103-114. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.012>
- **Zahran H.H.** (1999). Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 63(4), 968-989. doi: <https://doi.org/10.1128/membr.63.4.968-989.1999>

# **Annexes**

## Annexe 1 : Coordonnées GPS des exploitations

Exploitation	Latitude	Longitude
1	31°40'14.4"N	5°51'02.0"W
2	31°41'16.4"N	5°52'56.1"W
3	31°41'11.1"N	5°53'26.1"W
4	31°41'11.3"N	5°53'25.9"W
5	31°40'09.9"N	5°54'12.0"W
6	31°41'05.2"N	5°52'33.8"W
7	31°44'59.2"N	5°49'22.2"W
8	31°44'45.4"N	5°47'59.3"W
9	31°47'12.8"N	5°45'39.7"W
10	31°44'45.4"N	5°48'39.0"W
11	31°45'31.1"N	5°48'19.0"W
12	31°42'41.9"N	5°48'11.1"W
13	31°42'11.5"N	5°48'36.4"W
14	31°41'35.9"N	5°49'26.4"W
15	31°24'52.0"N	5°29'28.6"W
16	31°39'49.6"N	5°54'08.1"W
17	31°41'13.1"N	5°52'40.2"W
18	31°40'23.6"N	5°51'55.0"W
19	31°41'15.9"N	5°52'30.8"W
20	31°41'10.6"N	5°53'23.2"W
21	31°44'45.7"N	5°48'01.9"W
22	31°40'29.9"N	5°50'59.3"W
23	31°40'20.1"N	5°50'57.1"W
24	31°40'34.5"N	5°50'49.7"W
25	31°41'41.1"N	5°49'25.5"W
26	31°41'20.3"N	5°53'20.4"W
27	31°45'50.4"N	5°47'12.9"W
28	31°47'46.0"N	5°46'32.5"W
29	31°47'46.0"N	5°46'32.5"W
30	31°47'46.0"N	5°46'32.5"W
31	31°42'56.4"N	5°48'49.4"W
32	31°41'15.8"N	5°49'11.7"W
33	31°40'40.8"N	5°50'42.2"W
34	31°40'29.9"N	5°50'56.7"W
35	31°41'19.8"N	5°53'19.2"W



## Mobilité ou sédentarité

Mobilité :

Sédentarité absolue :

Si oui, nature des mobilités saisonnières (zones de déplacement) :

Périodes de ces déplacements et personnes impliquées dans la famille (ou main-d'œuvre externe)

### I. Fumier

#### a. Ramassage du fumier

Ramassage du fumier	Bergerie	Azib
Fréquence		

#### b. Comment se fait le transport (Camion/Brouette/Mulet) ? Distances ?

#### c. Ventes annuelles

Unité	Poids de l'unité	Nombre d'unités	Origine	Prix d'unité

#### d. Achats annuels de fumier

Unité	Poids de l'unité	Nombre d'unités	Origine	Prix d'unité

#### e. Manutention et entreposage du fumier

- ✓ Lieu d'entreposage du fumier :
- ✓ Conditions de stockage du fumier (couvert/exposé, arrosage, autre) :
- ✓ Durée de stockage avant utilisation :
- ✓ Gestion du fumier entreposé :
- ✓ Différentes utilisations du fumier (périodes d'épandage) :

## Fiche enquête « Flux de matières »

### 1. Luzerne

- a. Nombre de fauches par an ?
- b. En est-il de même pour toutes les parcelles ? Sinon quelles différences :
- c. Estimation de la quantité de biomasse par la méthode de quadrats

Parcelle	Nombre de fauches par an	Personnes impliquées dans la fauche
1		
2		
3		
4		
...		

Placette	Poids frais (kg)
1	
2	
3	

- d. Estimation de la quantité apportée en vert et la quantité fanée

- e. Achats et ventes

Achats					Vente				
Unité	Poids de l'unité (pesée)	Nombre d'unités	Prix de l'unité	Source	Unité	Poids de l'unité (pesée)	Nombre d'unités	Prix de l'unité	Source

## 2. Herbe de prairie

Nombre de fauches par an ? Sinon quelles différences :

Parcelle	Nombre de fauches par an	Personnes impliquées dans la fauche
1		
2		
3		
4		
...		

Estimation de la quantité de biomasse par la méthode de quadrats

Placette	Poids frais (kg)
1	
2	
3	

Estimation de la quantité apportée en vert et la quantité fanée

Achats et ventes

Achats					Vente				
Unité	Poids de l'unité (pesée)	Nombre d'unités	Prix de l'unité	Source	Unité	Poids de l'unité (pesée)	Nombre d'unités	Prix de l'unité	Source

### 3. Ecart de triage des pommes

Quantité produite	Quantité autoconsommée	Quantité vendue	Prix de vente	Quantité achetée	Prix d'achat	Source

- ✓ Est-ce qu'il y a des précautions à propos de l'utilisation des écarts de triage ?
  
- ✓ Quelles espèces (stade physiologique aussi) auxquelles sont distribués ces aliments ?

### 4. Adventices

#### a. Céréaliculture

Période de désherbage	Quantité fauchée	Quantité exploitée en vert	Quantité fanée

#### b. P Pommier

Période de désherbage	Quantité fauchée	Quantité exploitée en vert	Quantité fanée

#### c. Maraîchage

Période de désherbage	Quantité fauchée	Quantité exploitée en vert	Quantité fanée

Achats					Vente				
Unité	Poids de l'unité	Nombre d'unités (pesée)	Prix de l'unité	Source	Unité	Poids de l'unité (pesée)	Nombre d'unités	Prix de l'unité	Source

Moyen de transport vers l'étable

### 5. Paille

Production			Achat		
Unité	Poids de l'unité (pesée)	Nombre d'unités	Unité	Poids de l'unité (pesée)	Nombre d'unités

- ✓ Gestion des chaumes : Pâturage ?  
 Par propres troupeaux ou location à autrui ou auprès d'autrui ?  
 Prix (DH/surface) :
  
- ✓ Moyen de transport vers l'étable :

## 6. Bois de taille des pommiers

a. Estimation de la quantité

Unité	Poids de l'unité (pesée)	Nombre d'unités

b. Différentes utilisations :

c. Est-ce-que vous vendez le bois ? Si oui, à quel prix ?

d. Moyens de transport vers l'habitat

## Achats annuels d'aliments de bétail/Usages d'aliments subventionnés

Fourrages (sous quelles formes) :

Concentrés (lesquels ? Quelles quantités par matière première ?)



✓ Avez-vous mis en place des pratiques de gestion des déchets pour produire de l'engrais naturel ?

✓ Vendez-vous des produits directement aux consommateurs ? Quels produits ? A quels prix ? Quelles proportions ceci représente par rapport à la production totale ?

Animaux vivants

Lait

Miel

Autres

## ملخص

تهدف الدراسة الحالية إلى تحليل مساهمة تربية الماشية في إرساء مبادئ الاقتصاد الدائري في واحات جبال الأطلس الكبير وهي مناطق تشهد تحولات متعددة، المتمثلة بدرجة أولى في كل من الإجهاد المائي وتغيرات المناخية المؤدية إلى العديد من الإشكاليات الزراعية والاقتصادية والاجتماعية. تمت الدراسة على عينة من 35 مزرعة تعكس تنوع الحالات من خلال قياس التدفقات التي تتفاعل بين مراحل الإنتاج المختلفة، سواء كانت حيوانية أو نباتية، على مدار العام.

أظهرت النتائج أن تربية الماشية تلعب دورًا كبيرًا في تعزيز قدرة المزارع على التحمل وكذا تطوير مرونتها حيث يظهر تحليل استقلالية تدفقات المادة أن الأعلاف تسهم بنسبة 87.0% من الطاقة الصافية التي تُنتج داخل هذه المزارع. كما يُسجل متوسط إنتاج العلف يصل إلى 47.0٪، مرتبطًا بشكل وثيق بالمساحة الزراعية المستخدمة بالإضافة إلى عدد الماشية مما يقلل من حاجة مبدأ إعطاء الأولوية للموارد المحلية يتمشى بشكل تام مع مفهوم الاقتصاد الدائري، مع تفضيل أقصر المسارات. شراء العلف وتقليل تكاليف النقل وإزالة الأثر البيئي الناتج عنها. يبين تقييم التوازن الطاقوي أن 71.9٪ من احتياجات الحيوانات يتم تغطيتها من خلال الأعلاف المزروعة؛ وتتفاوت هذه النتائج بين المزارع ذات نظام المرعى المتحرك (13.0٪) والأخرى ذات نظام التربية الثابت (86.9٪). تُقدر الكمية المتوسطة للسماد الطازج المنتجة لكل وحدة من الماشية بنحو 2921 كيلو غرام للوحدة بالنسبة للمزارع ذات التربية الثابتة. كما يُقدر متوسط فارق الفرز بالنسبة لأشجار التفاح بحوالي 1.5 كيلو غرام للشجرة.

استنادًا إلى هذه النتائج، تم تحديد أربعة أنماط من المزارع: (أ) مزارع بتربية ثابتة وإنتاجية أعلاف عالية؛ (ب) مزارع بكفاءة طاقة عالية وكثافة منخفضة للماشية؛ (ت) مزارع بتربية رعوية مع عدم جمع السماد؛ (ج) مزارع بتربية رعوية متنقلة مع جمع السماد. يتمشى هذه الأنماط بشكل رئيسي مع الموقع الجغرافي والمزايا الأساسية للمزرعة.

كلمات مفتاحية: الاقتصاد الدائري، تربية الماشية، الإدارة مستدامة، واحات الجبل، الترحال

المملكة المغربية  
ROYAUME DU MAROC

INSTITUT AGRONOMIQUE  
ET VÉTÉRINAIRE HASSAN II



معهد الحسن الثاني  
للزراعة والبيطرة

مشروع نهاية الدراسات لنيل دبلوم مهندس في الزراعة  
تخصص هندسة الانتاج الحيواني

## مساهمة تربية الماشية في ترسيخ مبادئ الاقتصاد الدائري: دراسة حالة واحات جبال الأطلس الكبير

قدم للعموم ونوقش من طرف:

السيد طالبي عبد الرحيم

المعهد الوطني للبحث الزراعي، الرباط	رئيس	الدكتور. المعدودي
معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة، الرباط	مقرر	السيد م.ط. السرايري
معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة، الرباط	ممتحنة	السيدة س. يومقراط
معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة، الرباط	ممتحنة	السيدة م. سيف النصر

شتبر 2023

معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة - مدينة العرفان، ص.ب.6206

الفاكس: 38 58 77 أو 35 81 77 37 (05) الهاتف: 92 07 77 أو 58 175 77 37 (05)

الموقع: [www.iav.ac.com](http://www.iav.ac.com)