

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة الحراش-الجزائر

Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach-Alger

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD en Sciences Agronomiques

Département : Zootechnie

Spécialité : Production animale

**Les prairies permanentes de quelques régions du
Centre de l'Algérie : importance, composition
floristique, rendement et valeur nutritionnelle.**

Présenté par : RAMI Hanane

Soutenu le : 05/11/2024

Devant le jury composé de :

Président : Mme BENHOUHOU S.

Professeur (ENSA, El Harrach, Alger)

Directeur de thèse : Mme CHABACA R.

Professeur (ENSA, El Harrach, Alger)

Co-directeur de thèse : Mme CHIBANI C.

M.C.B (ENS Kouba, Alger)

Examineurs : M. ABDELKRIM H.

Professeur (ENSA, El Harrach, Alger)

M. EL BOUYAHIAOUI R.

M.R.A (INRAA, Alger)

M. TOUMI M.

Professeur (Université Alger 1)

Remerciement

Avant tout, je remercie **ALLAH** qui durant ces longues années m'a donné de la patience, du courage, de la volonté et de la santé pour commencer et terminer ce travail de thèse.

Cette thèse n'aurait pu être réalisée sans le soutien de nombreuses personnes : je souhaite remercier tous les cerveaux et toutes les mains qui m'ont aidé, de près ou de loin, tout au long de ces cinq ans.

Je tiens à remercier sincèrement ma promotrice **Mme CHABACA R** professeure à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach (ENSA). J'ai eu le grand plaisir de travailler sous votre direction, et j'ai trouvé auprès de vous la conseillère et la guide qui m'a reçue en toutes circonstances avec sympathie, sourire et bienveillance. Votre compétence professionnelle incontestable ainsi que vos qualités humaines vous valent l'admiration et le respect de tous.

Vous êtes et vous serez pour moi l'exemple de rigueur et de droiture dans l'exercice de la profession.

Mme CHIBANI C, maître de conférences de classe B à l'école nationale supérieure de Kouba (ENS) pour son aide constante ;

Veillez, chères Maîtres, trouvé dans ce modeste travail l'expression de notre haute considération, de notre sincère reconnaissance et de notre profond respect.

C'est pour nous un grand honneur de vous avoir **Mme BENHOUS S**, professeure à l'école nationale supérieure agronomique d'El Harrach (ENSA) comme présidente de ce jury, soyez-en ;

Ma reconnaissance va à **M. ABDELKRIM**, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach (ENSA), **M. TOUMI M**, professeur à l'université Alger 1 Ben Youssef Ben Khadda et **M. EL BOUYAHIAOUI R**, maître de recherche à l'institut national de la recherche agronomique d'Algérie (INRAA) pour avoir accepté d'examiner ce travail ;

Un remerciement doit être adressé à :

Mon mari **MEDJADBI Mounir** et mes parents ont toujours été là pour moi avec soutien indéfectible, patience, amour et encouragement au fil des ans. Leur présence dans ma vie a rendu cela possible. Un grand merci à mon chère **Papa**, sans lui, je ne serais pas là où je suis aujourd'hui.

M. GHOZLANE Faissal, professeur à l'école nationale supérieure agronomique d'El Harrach (ENSA),

Mme LEFKIR Samia pour son aide et sa patience avec moi,

M. LABADI Redouane (Ingénieur de laboratoire sciences du sol de l'ENSA),

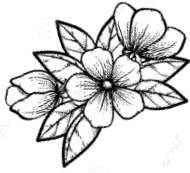
Mme KABLI Nabila de l'Institut national de la recherche agronomique INRAA qui m'a beaucoup aidé.

Mme TAZKA H directrice de la division de recherche en productions animales de l'Institut national de la recherche agronomique INRAA pour sa gentillesse.

Mme ALOUACHE Sabiha technicienne à l'Institut national de la recherche agronomique INRAA pour son aide au laboratoire.

Mme AZZOUG Lamia pour ses conseils.

Mes profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin



Je dédie ce travail.....

A mes parents

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitte jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

***Mon père** tu es mon amour, mon roi et ma source de vie. Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter.*

***Ma mère**, tu es ma source de sourire. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

***A mon époux Medjadbi Mounir** qui m'a soutenu durant toute la période de ce travail, je te remercie pour ta patience, ta gentillesse, ton soutien et aussi pour ton encouragement, que Dieu t'accorde la réussite pour toi, que Dieu exauce ses rêves et la garde auprès de ses bien aimés ;*

*A ma chère fille **ZAYNEB**, mon cœur, ma source de joie j'espère qu'un jour tu serais fière de ta maman ;*

*A mon cher frère **Ahmed** que Dieu nous protège, je te remercie pour, ton soutien et aussi pour ton encouragement, que dieu t'accorde la réussite pour toi, que Dieu exauce ses rêves et la garde auprès de ses bien aimés ;*

*A mes chères sœurs **Khedidja, Meriem et Waffa** mes moitiés, je vous souhaite mes chers une vie pleine de bonheur et de réussite ;*

*A ma **grand-mère** que Dieu vos protège ma mère ;*

*A mes **beaux-parents** que Dieu nos garde et protège ;*

*A mes Amies : **Khaldi Amina, Ladjal Amel, Guendouzi Soumiya, Mabrek Naoullé, Nadjiba, rima, Meriem riache et Bouchra.***

Listes des articles qui ont été publiés en utilisant nos résultats

Rami, H., Chibani-Khetib, C., Medjadbi, M., et Chabaca, R. (2021). *Contribution à l'étude de la valeur fourragère des prairies permanentes algériennes. Caractérisation botanique et agronomique en région centre*. Livestock Research for Rural Development. 33 (7).

Listes des participations aux séminaires en utilisant nos résultats

Rami, H., Chibani-Khetib, C et Chabaca, R. (2021). *Seasonal and annual variation in botanical composition, biomass produced and in vitro digestibility of a permanent grassland in central Algeria*. International Conference on Agricultural, Biological and Life Science (Turquie). En ligne de 1 à 3 septembre 2021 Edirne, Turquie. Participation orale.

Rami, H., Chibani-Khetib, C et Chabaca, R. (2023). *Biomass production and botanical composition of two permanent grasslands in central Algeria*. The XIV International Scientific Agriculture Symposium "AGROSYM 2023". En ligne. Du 05 au 08 octobre 2023, Bosnie-Herzégovine. Participation orale.

Rami, H., Chibani-Khetib, C et Chabaca, R. (2022). *Étude des potentialités fourragères et digestibilité in vitro d'une prairie permanente du centre de l'Algérie*. Journée des sciences agronomiques, ENSA, 24 avril 2022. Participation Orale.

Rami, H., Chibani-Khetib, C., Medjadbi M et Chabaca, R. (2023). *Production de biomasse, composition floristique et propriétés chimiques du sol des prairies permanentes du centre de l'Algérie*. The first seminar of soil and water 27 novembre 2023, université de Tipaza. Participation orale.

Sommaire	
Résumé	ix
Abstract	x
ملخص	xi
Liste des tableaux	xii
Liste des figures	xv
Liste des annexes	xvi
Liste des Abréviations	xvii
Introduction générale	1
Partie I : Synthèse bibliographique	7
Chapitre I : Panorama général sur les prairies	8
I.1 Que sont les prairies ?	8
I.2 Une définition polysémique, complexe et protéiforme	9
I.3 Un « champ » de rencontres pluridisciplinaires	13
I.4 Une distribution planétaire des prairies	16
I.5 Principaux services éco systémiques rendus par les prairies	21
I.6 Les prairies, supports du cycle du carbone	25
I.7 Les prairies, facteurs d'adaptation au changement climatique	28
I.8 Les propriétés agronomiques des prairies	29
I.9 Potentiel d'apport à la zootechnie, des disciplines scientifiques connexes, travaillant sur les aires d'herbage	31
Chapitre II : Méthodes d'études des aires d'herbages : démarche et pratique de mise en œuvre	33
II.1 Observation non destructive de la végétation : outils et méthodes	33
I.1.1 Observations visuelles	33
I.1.2 Échantillonnage non destructif	33

I.1.3	Photographie aérienne et imagerie satellite	33
I.1.4	Télédétection	34
I.1.5	Identification des espèces	34
II.2	Observations, description, mesures sur place et destructives de la végétation	34
II.2.1	Prélèvement par l'homme	34
II.2.2	Prélèvement par l'animal	35
II.3	Etudes de la production de biomasse	36
II.3.1	Méthodes destructives	36
II.3.2	Méthodes non destructives	36
II.3.3	Télédétection	37
II.4	Méthodes de détermination de la composition botanique des prairies	38
II.4.1	La méthode phytosociologique	39
II.4.2	Méthode des poignées	39
II.4.3	Méthode Botanal	40
II.4.4	La méthode simplifiée	40
II.5	Méthodes d'études de la valeur nutritionnelle et alimentaire des fourrages, sur aire d'herbages	40
II.6	Les aires d'herbage en Algérie	46
	Partie II : Etude expérimentale	52
	Chapitre I : Zone d'étude	54
I.1	Localisation et caractéristiques climatiques	54
I.2	Répartition et l'utilisation des terres	57
	Chapitre II. Démarche et mise en œuvre expérimentale	61
II.1	Matériel et méthodes	61
II.1.1	Présentation des parcelles expérimentales	61
II.1.2	Périodes et méthodes de prélèvement des échantillons	62

II.2	Résultats et discussion	66
II.2.1	Caractérisation physico-chimique du sol de Thouabet et de Braret	66
II.2.2	Caractéristiques botaniques	71
II.2.3	Caractéristiques agronomiques	78
Chapitre III : Caractérisation chimique et nutritionnelle		83
III.1	Matériel et méthodes	84
III.1.1	Analyses chimiques du fourrage	84
III.1.2	Digestibilité <i>in vitro</i>	84
III.2	Résultats des caractéristiques chimiques et nutritionnelles des échantillons	89
III.2.1	Caractéristiques chimiques	89
III.2.2	Caractéristiques nutritionnelles des échantillons des deux parcelles	96
III.2.3	Relations entre années, saison et parcelles et paramètres agronomiques	99
Chapitre IV : Caractérisation chimique et valeur alimentaire des foins des prairies étudiés		103
IV.1	Matériel et méthodes	104
III.1.1	Caractérisation chimique des foins étudiés	104
III.1.2	La mesure de la digestibilité <i>in vivo</i>	104
IV.2	Résultats et discussion	107
III.2.1	La composition chimique et pariétale des trois foins de prairie	107
III.2.2	Valeur alimentaire des trois foins de prairie et productivité de la parcelle sur 3 ans	108
Conclusion générale		115
Perspectives		117
Références bibliographiques		120
Annexes		140

Résumé

Les prairies permanentes constituent le principal écosystème terrestre. L'utilisation de ces prairies peut contribuer à réduire le déficit fourrager connu en Algérie, avec environ moins de 7 milliards d'unités fourragères (UF), grâce à la fourniture d'UF gratuite. Faire connaître les atouts de ces surfaces fait l'objet de ce travail, qui a été mené sur deux parcelles de prairie permanente, situées au centre de l'Algérie, sur deux années (A1 et A2) successives pendant l'hiver et le printemps pour la détermination de différents paramètres botaniques, agronomiques, chimiques et nutritifs. De plus, une étude zootechnique a été réalisée sur trois foins de la première parcelle, récoltés pendant trois années successives (A1, A2 et A3). Le prélèvement d'échantillons est effectué selon la méthode simplifiée. Après la détermination de la composition botanique, les rendements en frais et en sec sont déterminés. Les échantillons sont séchés et broyés pour déterminer la composition chimique, la digestibilité *in vitro* et le foin récolté pour l'ingestibilité et la digestibilité *in vivo*. Les résultats montrent sur les deux années d'études, 19 espèces de 10 familles végétales ont été inventoriées pour les deux parcelles en hiver et au printemps. Parmi ces dernières, deux sont fortement dominantes au printemps : les *Poaceae* et les *Fabaceae* qui représentent le plus grand pourcentage de la couverture végétale de la parcelle, les restants sont partagés principalement entre les *Convolvulaceae* et les *Astéraceae*. La production de biomasse sèche produite en hiver en minimum 12 Qx/ha et en maximum 77 Qx/ha, au printemps elle est de 24 Qx/ha au minimum et 105 Qx/ha au maximum. La teneur en lignine des foins est élevée : 12% de la matière sèche (MS) dans A1 et 6% MS dans A2. La digestibilité *in vitro* en hiver varie entre 52% et 67% MS pour les deux parcelles pendant deux années et au printemps entre 46% et 52% MS pour les deux parcelles pendant deux années. Les quantités de matière organique (MO) ingérées (MOI) s'établissent à 53 ; 70 et 71 g/kg P^{0.75} respectivement dans A1, A2 et A3. Ces deux derniers foins présentent des valeurs situées parmi les meilleures, enregistrées en Algérie, discriminant fortement A1 (P= 0.01). De même, la digestibilité de la MO est en faveur d'A2 et A3 : identiquement 57% contre 50% pour A1, tout comme pour celle des matières azotées (MA) : 55% en moyenne contre 32% pour A1 (P= 0.01). L'étude quantitative et qualitative des prairies permanentes donne une idée sur sa valeur d'où la nécessité de l'améliorer.

Mots clé : prairies permanente, biomasse, digestibilité *in vitro*, *in vivo*, rendement.

Abstract

Permanent grasslands are the main terrestrial ecosystem. The use of these grasslands can help reduce Algeria's forage deficit, which stands at less than 7 billion forage units (FU), by providing free FU. This study was carried out on two plots of permanent grassland, located in central Algeria, over two successive years (A1 and A2) during winter and spring, to determine various botanical, agronomic, chemical and nutrient parameters. In addition, a zootechnical study was carried out on three hays from the first plot, harvested in three successive years (A1, A2 and A3). Samples were taken using the Simplified method. After determining botanical composition, fresh and dry yields are determined. Samples are dried and ground to determine chemical composition, *in vitro* digestibility and harvested hay for ingestion and *in vivo* digestibility. The results show that over the two years of study, 19 species from 10 plant families were inventoried for the two plots in winter and spring. Of these, two were highly dominant in spring: *Poaceae* and *Fabaceae*, which accounted for the largest percentage of the plot's plant cover, with the remainder shared mainly between *Convolvulaceae* and *Asteraceae*. Dry biomass production in winter is a minimum of 12 Q/ha and a maximum of 77 Q/ha, while in spring it is a minimum of 24 Q/ha and a maximum of 105 Q/ha. The lignin content of the hay is high: 12% of DM in A1 and 6% in A2. *In vitro* digestibility in winter varied between 52% and 67% for the two plots over two years, and in spring between 46% and 52% for the two plots over two years. The quantities of organic matter (OM) ingested (OMI) were 53, 70 and 71 g/ kg P^{0.75} in A1, A2 and A3 respectively. The latter two hays had some of the best values recorded in Algeria, strongly discriminating against A1 (P=0.01). Similarly, the digestibility of OM is in favour of A2 and A3: identically 57% compared with 50% for A1, as is that of nitrogenous matter (NM): 55% on average compared with 32% for A1 (P=0.01). The quantitative and qualitative study of permanent grassland gives an idea of its value, hence the need to improve it.

Key words: permanent grassland, biomass, digestibility *in vitro*, *in vivo*, yield.

تشكل الأراضي العشبية الدائمة النظام البيئي الأرضي الرئيسي. استعمال هذه المروج يمكن أن يساهم في تقليص العجز العلفي المعروف في الجزائر، والذي يبلغ أقل من 7 مليارات وحدة علفية (UF)، وذلك بفضل توفير وحدات علفية مجانية. إن التعريف بمزايا هذه السطوح هو موضوع هذا العمل الذي تم تنفيذه على قطعتين من المروج الدائمة الواقعة بوسط الجزائر على مدى سنتين متتاليتين (1A و 2A) خلال فصلي الشتاء والربيع مختلف العوامل النباتية والزراعية والكيميائية والغذائية. بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء دراسة حيوانية على قش من القطعة الأولى، تم حصادها خلال ثلاث سنوات متتالية (1A، 2A و 3A) يتم جمع العينات وفقاً لطريقة مبسطة. وبعد تحديد التركيب النباتي، يتم تحديد المحصول الطازج والجاف. يتم تجفيف العينات وطحنها لتحديد التركيب الكيميائي وقابلية الهضم في المختبر ويتم حصاد القش من أجل قابلية الهضم والهضم في الجسم الحي. أظهرت النتائج على مدار عامين من الدراسة، أنه تم جرد 19 نوعاً من 10 عائلات نباتية في القطعتين في الشتاء والربيع. من بين هذه الأخيرة، هناك نوعان سائدان بقوة في الربيع: النجيليات والبقوليات اللذان يمثلان أكبر نسبة من الغطاء النباتي في قطعة الأرض، والباقي مشترك بشكل رئيسي بين الفصيلة العليقية و النجمية. يتبع من الناحية النوعية سمات نباتية مواتية. إنتاج الكتلة الحيوية الجافة المنتجة في الشتاء بحد أدنى 12 قنطار/هكتار و بحد أقصى 77 قنطار/هكتار، في الربيع هو 24 قنطار/هكتار كحد أدنى و 105 قنطار/هكتار كحد أقصى. محتوى اللجنين في التبن مرتفع: 12% من DM في 1A و 6% في 2A وتتراوح قابلية الهضم في المختبر في الشتاء بين 52% و 67% لقطعتي الأرض لمدة عامين وفي الربيع تتراوح بين 46% و 52% لقطعتي الأرض لمدة عامين. كمية المواد العضوية (OM) المبتلعة (MOI) هي 53 ؛ 70 و 71 جم / كجم $P^{0.75}$ على التوالي في 1A، 2A و 3A. هاتان القيمتان الأخيرتان تقدمان قيمتين تقعان من بين أفضل القيم المسجلة في الجزائر، حيث تميزتا بدرجة كبيرة عن 1A ($P = 0.01$). وبالمثل، فإن قابلية هضم OM لصالح العام 2A و 3A متماثلتان ب 57% مقابل 50% ل 1A، تمامًا كما هو الحال بالنسبة للمادة النيتروجينية (MA) ب 55% في المتوسط مقابل 32% للعام 1A ($P = 0.01$). تعطي الدراسة الكمية والنوعية للأراضي العشبية الدائمة فكرة عن قيمتها، ومن هنا تأتي الحاجة إلى تحسينها.

الكلمات المفتاحية: الأراضي العشبية الدائمة، الكتلة الحيوية، القابلية للهضم في المختبر، في الجسم

الحي، المحصول.

Liste des tableaux

Tableau 1. Eclairage typologique du substantif « Prairie » par quelques qualificatifs complété par différentes sources dont Agreste et INRAE.	10
Tableau 2. Disciplines scientifiques dont le support de travail peut être incarné par le substantif « prairie » et plus largement : « les aires d’herbage ». Complété par différentes sources dont Agreste et (Ewald, 2003).	14
Tableau 3. Outils et méthodes des disciplines liées aux aires d’herbages. Complété par différentes sources dont Agreste (Ewald, 2003) et (Meddour, 2011).	15
Tableau 4. Répartition des types de prairies de la Classification internationale de la végétation (IVC) par continent. (Dixon et al. 2014).	18
Tableau 5. Classification internationale de la végétation (IVC) des divisions de prairies dominantes dont la superficie est supérieure à $1.0 \times 10^6 \text{ km}^2$ Compilation à partir des données de Dixon et al. (2014).	19
Tableau 6. Les services écosystémiques fournis par les prairies permanentes (D'Ottavio et al. 2017).	22
Tableau 7. Réflexions sur les Apports méthodologiques à la zootechnie des disciplines scientifiques.	32
Tableau 8. Echelle de notation d’abondance dominance inspirée de Braun-Blanquet (1951).	39
Tableau 9. Tableau comparatif des différentes méthodes de détermination de la digestibilité chez les ruminants (Roberge et Toutain, 1999).	43
Tableau 10. Les méthodes de mesure de l’ingestibilité des fourrages (Chibani, 2013).	45
Tableau 11: Eco zones terrestres de la planète : taille et principales localisations géographiques (Boulot, 2009) complété par différentes sources.	47
Tableau 12. Les systèmes d’élevage algérien dans la nomenclature mondiale de la FAO.	51
Tableau 13. Répartition de la température et l’humidité relative sur la région d’étude.	55
Tableau 14. Répartition des terres dans la daïra de Dellys (MADR, 2019).	58
Tableau 15. Répartition des fourrages dans la daïra de Dellys (DSA Boumerdes, 2019).	58
Tableau 16. Répartition de l’élevage dans les communes de Dellys (DSA Boumerdes, 2019).	59

Tableau 17 . Stade de développement des espèces prélevées.	63
Tableau 18. Analyse physico chimique du sol de la parcelle Thouabet.	66
Tableau 19. Analyse physico chimique du sol de la parcelle Braret.	69
Tableau 20. Composition floristique, proportions relatives des espèces identifiées sur les parcelles et leurs types végétatifs.	72
Tableau 21. Fréquences et abondances des espèces dominantes de la parcelle Thouabet en hiver et en printemps durant les deux années.	75
Tableau 22. Fréquences et abondances des espèces dominantes de la parcelle Braret en hiver et en printemps durant les deux années.	76
Tableau 23. Rendements (Qx/ha) de la parcelle Thouabet durant l’hiver et le printemps des deux années.	79
Tableau 24. Rendements (Qx/ha) de la parcelle Braret durant l’hiver et le printemps des deux années d’étude.	81
Tableau 25. Composition de la salive artificielle Mc Dougall (1948).	85
Tableau 26. Composition de la solution d’oligoéléments (/L).	85
Tableau 27. Composition chimique de la parcelle Thouabet durant l’hiver et le printemps pendant 2 ans.	90
Tableau 28. Composition pariétale de la parcelle Thouabet durant l’hiver et le printemps pendant 2 ans.	91
Tableau 29. Composition chimique de la parcelle Braret durant l’hiver et le printemps pendant deux ans.	93
Tableau 30. Composition pariétale de la parcelle Braret durant l’hiver et le printemps pendant deux ans.	95
Tableau 31. Les digestibilités <i>in vitro</i> de la parcelle Thouabet en hiver et au printemps durant deux ans.	97
Tableau 32. La digestibilité <i>in vitro</i> de la Parcelle Braret en hiver et au printemps durant deux ans.	98
Tableau 33. Relations entre années, périodes, parcelles et paramètres agronomiques.	99
Tableau 34. Composition chimique et pariétale du foin distribué des 3 années.	107
Tableau 35. Ingestibilité, rendement digestif et productivité en UFL et MAD.	109

Tableau 36. Les niveaux alimentaires en énergie (NAe) et en azote (NAn) des animaux consomment nos rations des deux années d'études.

111

Liste des figures

Figure 1. Distributions mondiales des prairies et exemples de paysages de prairies de la planète. Les couleurs de fond montrent le type de prairie dérivé de Dixon et al. (2014).	20
Figure 2. Distribution géographique sur la planète des huit écozones terrestres officielles (source : https://www.sciencephoto.com/media/667430/view/earth-s-ecozones).	48
Figure 3. Distribution des différentes aires d'herbages en Algérie. Les couleurs d'arrière-plan indiquent le type des aires d'herbages d'après Rabehi et al. (2020).	49
Figure 4. Localisation de la zone d'étude.	54
Figure 5. Répartition mensuelle des précipitations totales sur la région de l'année 1 à l'année 4.	56
Figure 6. Diagramme ombrothermique de la station de Dellys de 1996 à 2018.	57
Figure 7. Situation des zones de prélèvement.	62
Figure 8. Délimitation de surface de la parcelle Thouabet.	63
Figure 9. Délimitation de surface de la parcelle Braret.	64
Figure 10. Protocole suivi l'utilisation des échantillons prélevés.	65
Figure 11. Représentation de la granulométrie sur le triangle textural de l'USDA (1954).	67
Figure 12. Tubes préparés, prêts à être incubés.	87
Figure 13. Tubes en incubation à 39°C dans le bain-marie.	87

Liste des annexes

- Annexe 1.** Nature des ressources fourragères en Algérie et positionnement géographique
(sources : synthèse Nedjraoui, 2003) 140
- Annexe 2.** Répartition des terres (millions ha) et ressources fourragères en Algérie. 141
- Annexe 3.** Principe et signification des méthodes de d'analyse de la composition chimique des aliments du bétail utilisées dans le monde (Chibani, 2013) 142

Liste des Abréviations

- SH** : surface en herbe.
ST : Surface totale.
SAU : Surface Agricole Utile.
TE : Terres émergées.
EZ : Ecozone.
SP : Surface en pâturage.
UF : Unité fourragère.
SA : Surface occupé par l'agriculture.
PF : plante a fleur.
BF : Bilan fourrager.
ADF : Acid detergent fiber.
ADL : Acid detergent lignin.
ANOVA : Analysis of variance.
CUD : Coefficient d'utilisation digestif.
ET : écart type.
ETR : Ecart type résiduel.
F% : Taux de fréquence.
HCOSE : Hémicellulose
INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique Algérie.
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique France.
LF : Limon fin.
LG : Limon grossier.
MAD : Matière azotée digestible.
MADI/Kg P^{0.75} : Matière azotée digestible ingéré en g par kilogramme de poids métabolique.
MADR : ministère de l'Agriculture et de Développement rural.
MAT : Matière azotée totale.
MATI : Matière azotée totale ingérées.
MM : Matière minérale.
MO : Matière organique.
GES : gaz à effet de serre.
MODI/Kg P^{0.75} : Matière organique digestible ingéré en g par kilogramme de poids métabolique.
MOI : Matière organique ingérées.
MOIT : Matière organique ingérées totale.
MS : Matière sèche.
MSI : Matière sèche ingérée.
MSIT : Matière sèche ingérée totale.
NAe : Niveau alimentaire énergétique.
NAn : Niveau alimentaire azoté.
NDF : Neutral detergent fiber.
P : Probabilité.
P^{0.75} : Poids métabolique.
R² : Coefficient de détermination.
Rdt : Rendement.
RMF : Rendement en matière fraîche.
RMS : Rendement en matière sèche.

SAT : Surface Agricole Totale.

SAU : Surface Agricole Utile.

SF : Sable fin.

SG : Sable grossier.

RJ : résorption de la jachère.

PP : prairies permanentes.

Ma : Million d'année.

Introduction

générale

Introduction générale

Les surfaces en herbe (SH) ont une place majeure dans les agroécosystèmes à l'échelle mondiale. Elles sont la principale source de fourrage pour les élevages d'herbivores (AGRESTE, 2017, Suttie et al. 2005). De même, elles représentent l'écosystème le plus communément distribué sur la planète. Ainsi, sur les 51 milliards d'hectares (ha) représentant la surface totale (ST) du globe, les terres émergées (TE) couvrent une superficie de 14.9 milliards d'ha (soit, 29.2% de la ST), réparties en huit écozones (EZ), établies par Udvardy (1975), desquels, environ 5.5 milliards (37% de TE) sont occupés par l'agriculture (SA), dont 70% de celle-ci (3.9 milliards d'ha) sont consacrés à des pâturages (SP). Les pâturages représentent donc la première activité agricole de la planète.

Les SH fournissent divers biens et services écosystémiques d'importance mondiale. En premier lieu : la production de fourrage pour le bétail (Bailey et al. 1996, Schauer et al. 2005). De même, les SH sont des supports alimentaires de premier plan pour les insectes. Elles concourent au maintien de l'humidité du sol, assurent la purification de l'eau, la prévention des inondations et par leurs racines la tenue des sols.

Même si l'élevage, notamment de ruminants, est émetteur de gaz à effet de serre (GES), ce qui a justifié le cri d'alarme de la FAO en 2006, les SH sont aussi, des puits de carbone efficaces, participant à l'atténuation de ces mêmes GES émis par l'animal (FAO, 2009, Gac et al. 2010). Le bétail qui les pâture assure en même temps, leur fertilisation par leurs déjections. Ainsi, 79% de l'azote ingéré par le bétail est restitué au sol : 66% pour le phosphore et 92% pour le potassium (Limbourg, 1997).

Outre l'entretien de la biodiversité, les SH développent l'économie sociale. Les SH de pâturages peuvent représenter dans certains pays pauvres entre 10 et 44% du produit intérieur brut (UA, 2010). Plus largement, l'agriculture a un fort poids social et économique dans le monde : elle représentait 4% du PIB mondial (86 540 milliards de dollars) en 2018 (Banque Mondiale, 2021). De même, l'élevage est la seule activité qui peut faire un usage économique des 23% de superficies de la planète qu'occupent les surfaces d'herbages, souvent impropres aux cultures.

L'élevage aujourd'hui fait face à une économie mondiale qui depuis la fin de la deuxième guerre mondiale a vu sa croissance bondir : avivé par les dons et prêts américains (connus sous le nom de plan Marshall), par la libération et la réactivation des secteurs de l'économie jusqu'alors affectés à l'économie de guerre (Marcel et Taïeb, 2019). Ainsi, toute viande confondue, la consommation mondiale a atteint un sommet en 2022 avec 361 millions de tonnes (FAO, 2023). Exprimée en kg par habitant et par an, elle était en moyenne mondiale de 42.4 kg en 2021, avec 86.0 kg et 32.7 kg, respectivement pour les pays développés et pour les pays en développement. En Algérie, elle était de 19 kg par an et par habitant (FAO, 2021), contre 28 kg pour la Tunisie et 35 kg pour le Maroc (Zeidane, 2021).

Cette consommation massive ne devrait pas faiblir. En effet, la FAO estime que d'ici 2030, elle devrait augmenter de 14% supplémentaire avec en tête, 30% pour l'Afrique (OCDE/FAO, 2021). Pour Fages (2015), d'ici 2050, elle devrait encore progresser de près de 7% : 5.2% dans les pays en développement et 1.6% dans les pays industrialisés. La part respective des espèces consommées dans le monde est de 36.3% pour le porc, 35.2% pour la volaille, 22.2% pour les bovins et 4.6% pour les petits ruminants (FAO, 2012) : soit, 71.5% de viande blanche et 26.8% de viande rouge (VR : tous les ruminants plus la viande équine).

Il apparaît que, le potentiel de hausse de la demande en viande est donc non négligeable en rapport avec la croissance démographique attendue (OCDE-FAO, 2023), ces deux paramètres étant fortement corrélée : la disponibilité en terre venant en modératrice.

Pour l'Algérie, des projections d'évolution de la population effectuées par l'INED-France (2022) par référence à 2022 (l'Algérie comptant alors, 45.7 millions d'habitants), montre que la progression à venir conduira le pays à 51.3 millions d'habitants en 2030, 59.8 en 2050 et à 66.2 en 2075. En face, la disponibilité en terres arables est faible : 0.17 ha/hab (Banque Mondiale, 2021), en comparaison, celle de la Tunisie du Maroc, et de l'Egypte était respectivement de 0.23 0.20 et 0.30 ha/hab, la moyenne mondiale étant à 0.18 ha/hab (Banque Mondiale, 2021).

Quant à la SAU (ha/habitant) nous l'avons calculée pour 2022 (sur la base d'une disponibilité en terre SAU aujourd'hui de 8.5 millions d'hectares) elle est également

faible : 0.19 ha/hab, valeur, en accord avec celle citée par Bessaoud et al. (2019). Calculée par référence à la projection d'évolution de la population établie par l'INED, le nombre d'ha/SAU par habitant s'établira à 0.16, 0.15 et 0.13 respectivement en 2030, 2050 et 2075.

En définitive, nous sommes en présence de trois paramètres : **(i)** la démographie qui augmente, et avec elle, la demande alimentaire humaine (Godfray et al. 2010 ; FAO, 2014 , Berauer et al. 2019) **(ii)** l'effectif du cheptel, en rapport avec les disponibilités fourragères **(iii)** la disponibilité en terre SAU. Cette dernière, inopportunément est de dimensions finies dans le sens que, la superficie des terres propices à la production agricole est limitée (Harari, 2012 , West et al. 2014 , Stoll-Kleemann et O'Riordan, 2015). Il apparaît donc que pour tenir le pari de pouvoir nourrir un homme avec une superficie en terres SAU d'environ 0.10 à 0.15 ha/hab dès les années 2030, il faudrait encore considérablement accroître les rendements agricoles par ha. Ce qui, selon Harari (2012) sera très difficile, compte tenu du « caractère fini » des terres agricoles. Par conséquent, pour Foley et al. (2005), Allan et al. (2015) et Gossner et al. (2016), il est peu probable que l'intensification apporte des solutions durables. Il en résulterait que, pour répondre aux futures demandes alimentaires humaines, l'agriculture devrait augmenter durablement sa production sur moins de terres par des innovations mettant en jeu, une utilisation efficace des ressources naturelles (terre, eau et biodiversité notamment) avec le plus faible impact possible sur l'environnement et le réchauffement climatique (Berauer et al. 2019 , Hobbs et al. 2008).

Néanmoins, il est à craindre que d'ici là (2030-2050), les limites de nombreux systèmes de production dans le monde, seront déjà atteintes et mêmes, largement dépassées, par défaut de disponibilités fourragères résultant de la faible productivité des surfaces en herbes pâturées par les ruminants, notamment dans les pays du Sud Global. Cet état de choses peut être mis en évidence et évalué par le calcul du bilan fourrager (BF), indicateur très utilisé par les spécialistes de la planification. C'est le cas en Algérie, depuis le travail fondateur de Moskal en 1983 sur la période d'activité agricole 1980-1982 durant laquelle, le découvert fourrager a été de 38% (mais, il était déjà faible bien avant ce travail). Par la suite, le BF a été réactualisé par de nombreux auteurs : Houmani (1998) indique un découvert de -34% (sur une longue période 1980-1995), GREDAAL (2003) de -22% sur une courte période de 2001-2002, MADR (2007) de -33% et le dernier

en date, s'installe à -55% : 7.3 milliards d'unités fourragères (UF) produites pour un besoin total de 13.3 milliards (Ladjali et Tayeb Bey, 2016).

De ces chiffres, il apparaît que depuis plus de quatre décennies, le pays a vécu en situation de chronicité de son BF négatif de 37% en moyenne, creusé au fil des années. Le pays a réagi par des importations de produits animaux et d'orge cette dernière a certes compensé partiellement le déficit en UF (Bouzida et al. 2010), mais en même temps, des animaux sur pieds, notamment des vaches laitières de races améliorées ont été importées. Avec le temps, elles ont fini par puiser leur alimentation dans les fourrages produits localement, déjà en décrépitude. Par ailleurs, il a été observé une progression plus marquée des effectifs des grands herbivores (49% en 10 ans), par rapport à celle des surfaces de pâturage (33% sur la même période), ce qui a encore, exacerbée le déficit du BF (Ladjali et Tayeb Bey, 2016). Ainsi, en moins de 30 ans, le déficit a plus que doublé, passant de -3.3 milliards à -7.3 milliards d'UF. Notons par ailleurs que, le déficit fourrager dans le pays recèle des disparités régionales importantes, selon les zones agroécologiques. En 2011, il était de 58, 32 et 29% respectivement en zones littorales, steppiques et sahariennes (Yahiaoui, 2011).

Cette situation interroge sur l'état de beaucoup d'autres pays de la planète quant à leur capacité à maintenir un niveau minimum d'équilibre entre les disponibilités fourragères et l'effectif des gros herbivores face à une demande alimentaire mondiale de viande rouge toujours plus forte, notamment dans le Sud Global. Aussi, la FAO (2014) a communiqué sur cette situation, en appelant les états à s'inquiéter de l'adéquation de la triade : démographie, ressources fourragère et disponibilité en terre et à mettre en place des outils de veille et de prévision, pour la maîtriser.

En Algérie, augmenter la quantité d'UF produite, devient une nécessité pour conserver à long terme la capacité de production de viande de ruminants dont le pays a besoin. Parmi les solutions qui ont été proposées, nous retenons plusieurs : **(i)** remplacer progressivement, le système de jachère introduit par les romains, il y a 2000 ans et qui persiste encore de nos jours (Abbas et Abdelguerfi, 2005, MADR, 2012), **(ii)** régénérer les parcours en zones arides par des plantations d'arbuste fourragers (Houari et al. 2021) et par la mise en défens des parcelles qui le nécessiteraient (Tbib et Chaieb, 2004), **(iii)** remplacer le vénérable foin de vesce avoine par son ensilage (Belaïd, 2014). **(iv)** Mettre en œuvre, la contribution des pailles de céréale pour un apport d'UF augmenté par leur

traitement à l'urée ou à l'ammoniac. Si on opte pour le foin, sa qualité doit être profondément améliorée (Abdelguerfi et al. 2008). Le potentiel serait de 1 milliard d'UF. Cette solution a été étudiée en Algérie par Triki (1988), Yahiaoui (1992) et Chabaca (2004). **(v)** Valoriser en aliment pour bétail, (sous formes concentrés ou de pierre à lécher) des Co et Sous-produits agricoles et agroalimentaires riches en nutriments (pulpes d'agrumes, drèches de brasserie, rebuts et déchets de dattes, gros sons (Hadjsmail, 2009 et 2015). **(vi)** Mettre en place, le système de rotation blé-medicago (En fait, le système Ley-Farming des Anglo-Saxon) dont la performance en productivité fourragère et céréalière a fait la fortune agricole de l'Australie (Carter, 1975). **(vii)** Réveiller par une bonne gestion et entretien (fertilisation, hersage, fauchage, sursemis, ébousage, fauchage pour faire du foin) les sources dormantes ou cachées d'UF fourragères des prairies permanentes algériennes qui recèlent encore d'important potentiels.

De toutes ces possibilités de production d'UF supplémentaires deux sources concomitamment nous semblent être les plus prometteuses pour une lutte gagnante contre le déficit fourrager chronique qui agite le pays, même si tous les supports alimentaires existants, doivent prendre leur part dans cette révolution fourragère qui se fait attendre depuis toujours. La première est : la résorption de la jachère (RJ) par l'adoption de la rotation : blé-medicago. La deuxième source d'UF cachée ou dormante est celle que recèle les prairies permanentes (PP) (Superficie en 2020 de 59 055 ha : MADR, 2020). Ces PP, peu exigeantes en soins et entretien, résilientes et économiques, elles s'adaptent parfaitement à son milieu pédoclimatique. Par ailleurs, leur sol et leur localisation, souvent ne sont pas propices aux autres cultures traditionnelles. Aussi, les rendements en quintaux de MS par ha sont faibles variant de 8.4 à 31.0 Qx, selon les conditions pédoclimatiques de l'année (Nedjraoui, 2003) : soit une moyenne de 20 Qx, contre 42 Qx (35 à 50) pour la France Méditerranéenne, qui connaît globalement les mêmes conditions pédoclimatiques, mais la gestion et l'entretien de ces PP en plus. Parmi lesquels : des actions d'aération, de scarification de sursemis d'ébousage et de fumures sont menées.

Par ailleurs, certaines de ces PP pourraient subir une fauche précoce dont le produit servirait à la confection de foin en sus de la pâture, ce qui n'est pas une pratique de gestion courante en Algérie. De plus, lorsque, cette fauche a lieu, les conditions nécessaires pour fabriquer un bon foin ne sont souvent pas respectées : la quantité étant préférée à la qualité.

Pour ce qui est des PP dont nous sommes humblement et modestement concernées et contributrices, deux étapes sont nécessaires : **(i)** une courte (qui peut être activée rapidement) riche en vulgarisations et en contrôles sur le terrain des méthodes de gestion et d'entretien des PP qui sont connus et qui ont fait leur preuve : quelques exemples sont donnés plus haut. **(ii)** une plus longue qui s'intéressera à mieux connaître scientifiquement, les caractéristiques de nos 59 055 ha de PP : composition floristique, interactions entre espèces végétales, avec le type de sol, résistance à la sécheresse, production de biomasse, les préférences de cohabitation mutuelle des espèces etc. Cette masse d'informations devrait inspirer de nouvelles innovations, permettre de constituer et de tester de nouvelles associations fourragères portant des avantages de durabilité.

Dans le présent travail , plus spécifiquement, qui en appellera d'autres, nos objectifs étaient de caractériser deux parcelles distinctes de prairies permanentes sur une période de deux années consécutives par la détermination de trois types de paramètres : **(i)** Botaniques : composition floristique, identification des espèces, leur fréquence et leur taux d'abondance **(ii)** Agronomiques et chimiques par mesure de la production de phytomasse ainsi que sa composition chimique **(iii)** Nutritifs par mesure *in vitro* de la digestibilité de la phytomasse récoltée après échantillonnage sur les deux parcelles **(iv)** puis l'étude zootechniques par l'étude des attributs de trois foins de la parcelle 1, récoltés pendant trois années successives (A1, A2 et A3) à être valorisés par le mouton : ingestion, digestibilité et niveau alimentaire permis.

Après avoir fait un panorama général sur les aires d'herbage de la planète, dont les prairies, sur leur histoire phylogénique et radiation évolutive, leur distribution et leur rôle dans les écosystèmes mondiaux et dans l'économie de l'homme, nous évoquons et présentons les disciplines scientifiques connexes qui travaillent sur la végétation dont les aires d'herbage et les prairies sont des terrains tout indiqués. Nous présentons leurs procédés et outils de travail. Cela étant fait, nous exposons le matériel et les méthodes que nous avons mis en œuvre pour réaliser notre travail, la localisation de la zone géographique de l'étude comprise. Les résultats obtenus ayant fait l'objet d'une évaluation et d'études statistiques adéquates, sont présentés, puis discutés par confrontation avec ceux de la littérature. L'épilogue de ce travail sera la conclusion et les projections qu'il suscite.

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Panorama général sur les prairies

I.1 Que sont les prairies ?

Pour le grand public, il n'y a pas d'ambiguïté : « Une prairie est une aire de pâturage servant de nourriture aux animaux herbivores ».

Dans cette présentation large de la prairie s'exprime des différences quant à la nature et la taille de la végétation en réponse aux conditions pédoclimatiques qui structure et stabilise l'écosystème prairial. Ainsi, dans les prairies calcicoles (Chiffaut et al. 1995), la végétation de courte taille est dominante. Le terme « prairie » évoque une grande diversité de milieux, de compositions en plantes et de paysages. On parle d'écosystèmes (Wickens, 1998).

La Grande Prairie¹ de l'Amérique du Nord, s'étend de manière continue sur 4 millions de Km² (WWF), parcourant trois pays : les USA, le Canada et le Mexique, est une bonne illustration de la réponse des aires de végétation aux conditions pédoclimatiques auxquelles elles sont exposées. Ainsi, La Grande Prairie offrait, à perte de vue avant l'arrivée des européens au 17^{ième} siècle, trois écosystèmes distincts étaient visibles (Ostlie et Carroll, 1996) :

- **Les prairies d'herbes courtes** : dominées par *Bouteloua gracilis* et le *Bouteloua dactyloides* (herbe aux bisons), sont les deux dominantes, et *Opuntia* et *Yucca glauca Hilaria*. Taille entre 15 et 30 cm , climat semi-aride, précipitation (200-400 mm/an) , pauvres en biodiversités et sol peu fertiles en était leur environnement.

¹ La Grande Prairie (la reine des prairies) ainsi nommée au 18^{ième} siècle (et jamais débaptisée ni anglicisé) par un géographe Français, ébloui par la beauté de ces espaces infinis, peuplé de 60 millions de bisons (0.5 million aujourd'hui). Située dans les grandes plaines de l'Amérique du Nord avec impact sur le Canada, le Mexique et les USA, ces derniers disposant de la plus grande située au centre du pays. Plusieurs villes de La Grande Prairie ont comme emblèmes, des végétaux qu'elle porte. La capitale de la Province d'Alberta au Canada porte directement le nom « Grande Prairie ».

- **Les prairies d'herbes hautes** : dominées par *Sorghastrum nutans*, *Andropogon gerardii*, *Schizachyrium scoparium* et *Panicum virgatum*. La hauteur moyenne de ces plantes varie de 1.5 à 2 mètres. Les précipitations, sont de 760 à 890 mm par an, biodiversité riche, terres fertiles en était leur cadre de vie.
- **Les Prairies d'herbes mixtes** : font la transition entre les deux précédents types (végétation entre 0.7 et 1.5 m). Les espèces dominantes sont : *Elymus smithii*, *Koeleria pyramidata*, *Sporobolus cryptandrus* et *Stipa arundinacea*. Elles sont plus riches en biodiversité que les prairies d'herbes hautes. La fertilité du sol est intermédiaire.

Pour l'initié, le mot « Prairie » est plus complexe à comprendre.

I.2 Une définition polysémique, complexe et protéiforme

Pour l'initié, le mot « prairie » est de toute complexité à comprendre. Il apparaît, qu'il convient de toujours lui adjoindre un qualificatif pour mieux le caractériser, l'individualiser et le distinguer de nombreuses surfaces en herbes qui constituent les écosystèmes terrestres. Par exemples :

- Par sa longévité sur le même sol : prairie temporaire, prairie permanente ou encore appelée prairie naturelle ;
- Par son mode de gestion : prairie pâturée ou prairie fauchée pour une utilisation en foin ou en zéro-grazing ; prairies en exploitation extensive ou intensive ;
- Par l'espèce végétale qu'elle porte : prairie à brome, prairie à dactyle, prairie à ray-grass d'Italie, etc. ;
- Prairie mixte de Graminées ou de Graminées associées à des légumineuses,
- Par sa localisation (prairie humide, prairie de montagne, etc) ;
- Certaines prairies, bien que concourant à l'activité d'élevage, ont un rôle non directement alimentaire : prairie pharmacie, prairie litière, prairie de décoration paysagiste.

Loin d'être exhaustif, le **tableau 1** présente, des qualificatifs courants donnés aux prairies

Tableau 1. Eclairage typologique du substantif « Prairie » par quelques qualificatifs complété par différentes sources dont Agreste et INRAE.

Substantif	Qualificatif	Commentaires
Prairie	Temporaire	Qui est en place depuis moins de 5 ans. Souvent exploitée en zéro grazing, c'est une culture assolée, une culture d'herbe. Préconisée dès le 16 ^e siècle par Olivier de SERRES, dans son livre : « Le théâtre d'agriculture et ménage des champs ». C'est le Ley Farming des anglo-saxons, qui a fait la fortune agricole de l'Australie.
	Permanente (PP)	Qui sont en place depuis au moins 5 ans (définition administrative pour des raisons de maîtrise par l'état l'occupation des terres par l'état). On parle aussi de surface toujours en herbe (STH). La PP se développe par auto-semis. Sont visibles encore en Normandie (France) des prairies semées au 19 ^{ième} siècle
	Naturelle	Parfois se confond avec « permanente » mais a pour caractéristique en plus de porter presque exclusivement des espèces endémiques du lieu et souvent jamais retournée. Il existe des prairies naturelles dans des contrées jamais habitées. On dit aussi « Prairie sauvage »
	Fauchée ou Pâturée	Ces deux types de prairie sont caractérisés par le mode d'exploitation ou par le niveau d'intensification : intensif, semi intensif ou extensif.
	Humide	Située en zone alluviale (proche d'un étang, cours d'eau, tourbières. Selon le niveau d'humidité, on décline en Humide (méso-hygrophiles) très humides (hygrophiles). Sur sol frais à sec, on parle de mésophiles
	Artificielle (PA)	Bon nombre d'auteurs ou d'utilisateur définissent les PA comme étant une prairie littéralement « planté par la main de l'homme ». C'est le cas en Algérie. Cependant à l'origine et notamment en France, les spécialistes puristes considèrent qu'il s'agit d'une prairie semée exclusivement avec des Légumineuses fourragères.
	À : - Dactyle - Brôme - Ray gras -Fétuque élevée ...	Ces prairies mono-espèces (appelée aussi « gazon » ou « pelouse ») peuvent être exploitées en pâturage ou fauche. Elles peuvent être aussi en pluri-espèces ou associées à une espèce de légumineuse.

Tableau 1 (suite). Eclairage typologique du substantif « Prairie » par quelques qualificatifs. Complété par différentes sources dont Agreste et INRAE.

Substantif	Qualificatif	Commentaires
Prairie	Pharmacie	Parcelle plantée en herbes à vertus médicinales (Existe le commerce, des mélanges appropriés de graines appropriés). Périodiquement, l'éleveur y fait pâturer son troupeau. Le principe est que l'animal est capable, instinctivement, de reconnaître et de consommer les espèces qui le soignent.
	La grande	La Grande Prairie est le nom donné par les géographes français au 16 ^{ième} siècle à ces vastes plaines de l'Amérique du Nord (USA, Canada et Mexique), avec 4.0 millions de Km ² . Avant l'arrivée des Européens paradis des bisons. Aujourd'hui, occupée par : l'élevage bovin, des cultures diverses, villes et états (Washington aux USA, Alberta au Canada, Colima au Mexique).
	Grasse	Se développe sur un sol riche en fumure, apports de purin ou de fertilisant de synthèse, ce qui favorise une forte production de biomasse végétale (dont principalement le fromental, la fétuque rouge, la fétuque des prés et l'avoine dorée) aux dépens de la diversité.
	Inondés	Ont de l'eau toute l'année, contiennent de nombreux végétaux qui poussent dans l'eau. Migration de divers oiseaux aquatiques vers ces zones. Les Everglades sont les plus grandes prairies inondées du monde.
	Montagnardes	Sont des zones arbustives de haute altitude avec des plantes de structure en rosette, une pilosité abondante et des surfaces cireuses. On retrouve se habitat à les Andes du Nord.
	Productive	Coupland (1973) considère les prairies que l'on trouve sur les sols noirs chernozémiques de l'Alberta et de l'ouest de la Saskatchewan comme des prairies de fétuque.
	Fleurie	Caractérisée par de diverses fleurs dans les Graminées qui forme des bandes fleuries. Chercher parfois à reproduire pour des raisons écologiques ou décoratives

A contrario, un duo de mots qui paraîtraient clair, par exemple : « aire d’herbage » ou « surface en herbe » ou un mot simple comme « pâturage », pourraient tous être assimilés à « Prairie ». Ainsi, le **CNRS** (Centre national de la recherche scientifique) français, avec son outil **Ortolang** (Outils et Ressources pour un Traitement Optimisé de la langue), présente une vingtaine de synonymes du substantif « Prairie » parmi lesquels : *pâturage, pâtis, pré, pâture, steppe, lande, champ, tundra, savane, pampa, pacage, embouche, pasquier, pâquis, alpage, parcours, gagnage, paissance, pelouse, etc.*

Chaque synonyme fait écho aux herbivores tels que ruminants (dans leur diversité), équins, domestiques ou sauvages.

Il apparaît donc, que le terme de prairie évoque une grande diversité de milieux, de compositions végétales et de paysages variés. De manière générale, les prairies sont des écosystèmes dominés par des plantes herbacées, notamment des Graminées et des Légumineuses. Nous verrons plus loin que des chercheurs ont essayé de mieux encadrer scientifiquement le mot.

Il reste néanmoins que ceux pour lesquels le terme est familier, les synonymes les plus couramment utilisés sont « pâturage » et « champ ».

Le mot « pâturage », du verbe latin *pascere* (féminin : *pastura,æ*), signifie littéralement «espace de nourriture herbeuse». Par extension, le mot est devenu *pastus* (Gaffiot, 1934), qui a donné avec le temps les noms bien connus de pâtre et de pasteur. *Pastus* est "l'action de paître, de brouter une pâture", et par extension, la nourriture même, sans mention de l’espèce animale. Par exemple, « donner sa pâture au chat » s’utilise aussi pour la nourriture humaine. Ainsi, dans son roman « Femme pauvre », **Léon Bloy** écrivait « Sans gîte maintenant et sans pâture, elle se voyait désormais livrée à Dieu seul ». Par ailleurs, les agronomes puristes font remarquer que « paître » et « brouter » ne sont pas synonymes (Ortolang, 2015). Paître, c’est manger au ras du sol comme le font les bovins, ovins et les équins, alors que brouter, c’est consommer des feuilles, des jeunes pousses d’arbustes ou d’arbres : des comportements fréquents chez les chèvres, ainsi que chez la girafe et l’éléphant. Cependant, sur des prairies parsemées d’arbustes, une même espèce peut à la fois paître et brouter (chèvres par exemple).

I.3 Un « champ » de rencontres pluridisciplinaires

La prairie est le « champ » de rencontre de nombreuses disciplines scientifiques. Sans être exhaustif : la botanique, l'écologie, la pédologie, l'agroécologie, la zootechnie, la géographie, la géobotanique, la phytosociologie et, depuis peu, la chimie de l'environnement.

Le substantif « prairie » n'est généralement pas **stricto sensu** utilisée par les scientifiques de la science du végétal ou de ses différentes disciplines (sauf en agronomie). Nous avons vu paragraphe I.2 la difficulté d'être précis quant à la définition de ce qu'est « la prairie ». Aussi, des expressions **lato sensu** sont utilisées pour définir le support de travail par exemple : Formation végétale, communauté végétale, groupement de végétaux et surface herbagère...

Le **tableau 2** présente les définitions et les objectifs scientifiques les plus couramment rencontrés dans la littérature.

Si le végétal est le dénominateur commun à ces différentes disciplines, la vision, la lecture et les objectifs scientifiques de chacune diffèrent, tout comme les outils d'études, même si, pour ces derniers, ils peuvent se confondre sur le terrain. Ainsi, la méthode de tracés « transect » et les points quadrats sont communs à de nombreuses disciplines. Cela conduit chaque discipline à définir le mot « prairie » selon ses objectifs scientifiques propres et l'utilité de la mission qui la concerne.

Dans le **tableau 3**, sont consignés les principaux outils et méthodes de travail de base couramment utilisés par ces disciplines.

Tableau 2. Disciplines scientifiques dont le support de travail peut être incarné par le substantif « prairie » et plus largement : « les aires d’herbage ». Complété par différentes sources dont Agreste et (Ewald, 2003).

Disciplines	Définition et objectif scientifique	Plus
Botanique	La botanique est la branche de la biologie qui étudie les plantes sous tous leurs aspects : leur structure, leur fonctionnement, leur classification, leur évolution et leur répartition.	-
Taxonomie végétale	La classification et l'identification des espèces végétales présentes dans les aires d'herbages sont des éléments clés pour comprendre la diversité botanique de ces écosystèmes.	-
Agro écologie	C'est l'étude des interactions entre les êtres vivants hommes et l'environnement au sein des systèmes agricoles. Une approche scientifique visant à la transition des modèles actuels de développement rural et d'agriculture conventionnelle vers des styles de développement rural et d'agriculture durable.	-
Zootechnie	<i>Zoon=animal</i> , <i>tekhné =art</i> ; Art d'élever les animaux. C'est une discipline intégrative en ce sens qu'elle rassemble les applications particulières de plusieurs champs disciplinaires mises en œuvre dans l'élevage, la sélection et la reproduction des animaux pour l'obtention de produits ou de services à destination des humains. « La zootechnie, connaissance des animaux appliquée aux besoins de l'homme » (Von Weckherlin et Verheyen, 1857).	D'après Bourde (1967) , la zootechnie relève du dernier quart du XVIIIe siècle.
Géobotanique	La géobotanique est une discipline scientifique dont les objectifs sont la description, l'interprétation et la prévision de types de distribution de population et taxons végétaux dans l'espace et dans le temps. Elle est proche de la phytoécologie, biogéographie végétale.	-
Phytogéographie	(Du grec <i>phuton=plante</i> , <i>gê=terre</i> , et <i>graphein=écrire</i>). La science qui étudie la distribution géographique des plantes à la surface de la terre pour montrer la dynamique des plantes et du couvert végétal dans l'espace géographique par des méthodes d'investigation utilisant des techniques de géo traitement et de cartographie.	-

Tableau 3. Outils et méthodes des disciplines liées aux aires d'herbages. Complété par différentes sources dont Agreste (Ewald, 2003) et (Meddour, 2011).

Disciplines	Principales outils ou méthodes de travail utilisées	Plus
Botanique	<p>Méthode des points quadrats 1971 : l'objectif est de quantifier les divers éléments de la structure d'une flore, d'une végétation ou encore d'un milieu autre. Des méthodes destinées aux pâturages ouverts ou très ouverts des climats arides, des méthodes destinées aux herbages fermés (formations herbacées denses) des climats humides.</p> <p>BOTANAL : est une technique moderne permettant de mesurer le rendement, la composition botanique et d'autres attributs importants des pâturages. BOTANAL a été publié pour la première fois par Tothill et al. (1978). Depuis lors, avec l'usage, il a été élargi pour accepter une gamme plus large d'attributs et pour tirer parti des méthodes informatisées modernes de collecte de données. Ce mémorandum technique est une description actualisée de BOTANAL.</p>	-
Phytosociologie	<p>La plus ancienne dite sigmatiste : (de S.I.G.M.A*= Station Internationale de Géobotanique Méditerranéenne et Alpine) appelé aussi méthode zuricho-montpellieraine ou la méthode d'étude de la végétation fondée par J. Braun Blanquet et son école.</p> <p>Une autre est la phytosociologie synusiale intégrée : est née dans les années quatre-vingt à partir des travaux de trois chercheurs : Bruno de Foucault, François Gillet et Philippe Julve. Elle puise ses racines dans les concepts développés au début du siècle par Lippmaa, Braun-Blanquet, Gams, Du Rietz, Tüxen et Raunkiaa.</p>	* : est aussi de la lettre grecque sigma (Σ), utilisée pour signifier « somme », ce qui est porteur à la fois d'une indication méthodologique et d'une appartenance d'école (Géhu, 1979).
Agronomie	<p>Méthode des poignées (Vries et de Boer, 1959) : Cette méthode, dite semi-quantitative, permet d'évaluer l'abondance relative de chaque espèce</p>	-
Phytoécologie	<p>« C'est la science qui a pour but d'étudier les rapports entre l'environnement et la végétation ». Une analyse phytoécologique prairial menée par Daget et Poissonet (1971) a permis de calculer un indice matière sèche spécifique du couvert végétal.</p>	Après évaluation nutritionnelle (EN), permettra de calculer la part de chaque espèce dans l'EN

I.4 Une distribution planétaire des prairies

Comme il a été développé plus haut, la notion de « prairies permanentes » ou naturelle correspond à travers le monde à des milieux parfois très différents selon leur définition (Gibson et Newman, 2019). Elle regroupe savanes, steppes, prairies tempérées de fauche et de pâture, marais et cariçaies, prés-salés, et toutes autres formations végétales principalement herbacées telles que les ourlets et mégaphorbiaies (Ellenberg et Mueller-Dombois, 1967).

Dixon et al. (2014) ont présenté un cadre pour définir les types de prairies mondiales et une méthodologie pour cartographier leur répartition géographique. Pour cela ils ont combiné deux systèmes existants : d'une part, le système de Classification internationale de la végétation (IVC), pour clarifier la définition des prairies (Dixon et al. 2014), et d'autre part, le système des écorégions terrestres du monde (**TEOW**, Terrestrial Ecoregions of the World), afin de fournir une première caractérisation géospatiale mondiale (Olson et al. 2001). En combinant ces deux systèmes, ils ont créé un cadre systématique et spatialement explicite qui rend largement compte de la biodiversité des prairies (en tant que types de végétation) et des complexes écologiques spatiaux (en tant qu'écorégions) au sein desquels se trouvent les prairies.

Ces auteurs ont proposé une définition des prairies qui fournit un ensemble de critères que les décideurs politiques peuvent utiliser pour guider les décisions de conservation, telles que la définition de critères de durabilité pour le maintien des prairies indigènes. La définition prépare également le terrain pour décrire la diversité des prairies dans le monde grâce à la cartographie des écosystèmes, illustrée par une carte de répartition à grande échelle.

La définition des prairies proposé pour une application mondiale est comme suit (Dixon et al. 2014) : Une prairie naturelle ou semi-naturelle est définie par les caractéristiques suivantes : **(1)** C'est une formation non humide, **(2)** la végétation vasculaire doit représenter au moins 10% de couverture, **(3)** les graminoides ont un couvert d'au moins 25% de la couverture végétale (mais si la couverture est inférieure à 25%, les Graminées dépassent celle des autres herbacées et arbustes), **(4)** les herbes à

feuilles larges (forbes) peuvent avoir des niveaux variables de couverture et de dominance, **(5)** les arbustes ont une couverture de canopée inférieure à 25%, **(6)** et les arbres : **(i)** dans les zones tempérées, ont généralement une couverture de canopée inférieure à 10%, sont de hauteur inférieure à 5 m et sont monostratifiés, ou **(ii)** dans les régions tropicales, ont généralement une couverture de canopée inférieure à 40%, sont de hauteur inférieure à 8 m et sont monostratifiés.

Dixon et al. (2014) ont identifié 49 types des prairies taxonomiquement et spatialement distincts créant une nouvelle représentation biogéographique mondiale de type de prairies de la planète (**Tableau 4**).

La distribution et la diversité des prairies sont très variables à travers le monde. Le **tableau 4**, indique que c'est l'Amérique du Sud et l'Afrique qui portent, le nombre le plus élevé de types de prairies dominants, respectivement : 16 et 12. A contrario, c'est l'Amérique du Nord (AN) et l'Océanie (OC) qui ont le nombre le plus faible de types de prairie : 4 types chacune avec chaque type composé lui-même de six sous-divisions de prairies pour AN et cinq pour OC. Il est clair que classer la végétation en prairies n'est pas chose facile à appréhender pour le non initié. Il n'y a pas un fort consensus dans la profession. Voilà ce que dit la **CBN_{France} Conservatoire botanique national (2021)**, de la « végétation » « *La végétation, c'est un groupe de plantes qui grandit ensemble dans un lieu donné et qui s'installe en fonction du climat, du sol, du relief et des activités humaines. C'est aussi un indicateur **puisque'elle exprime le contexte géographique et environnemental d'un territoire et la bonne santé d'un milieu. Quand on parle de roselière, de forêt, de tourbière ou encore de prairie, finalement on parle là de grands types de végétation.***

A partir de cette étude, Liu et al. (2023) ont réalisé une carte mondiale de la distribution des prairies détaillées avec un exemple de paysage de chaque type de prairie (**Figure 1**).

Tableau 4. Répartition des types de prairies de la Classification internationale de la végétation (IVC) par continent. (Dixon et al. 2014).

Continent	Divisions IVC avec des types de prairies dominants
Amérique du Sud	16
Afrique–Madagascar	12
Eurasie	9
Australie	5
Amérique du Nord	4
Océanie	4

Les couleurs de fond montrent le type de prairie et leur localisation sur la planète dérivée de Dixon et al. (2014). Le **tableau 5** représente respectivement, les superficies les plus importantes de ces prairies.

Tableau 5. Classification internationale de la végétation (IVC) des divisions de prairies dominantes dont la superficie est supérieure à 1.0 x 10⁶ km² Compilation à partir des données de Dixon et al. (2014).

N	IVC division	Superficie (10⁶ Km²)
1	Broussailles et prairies semi-désertiques du Sahel septentrional	3.04
2	Prairies et arbustes des Grandes Plaines	2.98
3	Broussailles et prairies semi-désertiques fraîches de l'Eurasie de l'Est	2.85
4	Broussailles alpines, prairies de forbées et prairies d'Asie centrale.	2.80
5	Savane tropicale australienne	2.15
6	Prairies et arbustes d'Eurasie orientale	2.11
7	Arbustes, prairies et savanes des basses terres du Brésil et du savana	2.04
8	Forêt mésique et savane d'Afrique occidentale et centrale	1.84
9	Afrique de l'Est : broussailles et prairies xériques	1.70
10	Savane sèche soudano-sahélienne	1.63
11	Broussailles et prairies semi-désertiques fraîches d'Eurasie occidentale	1.35
12	Gommage méditerranéen d'Australie	0.72

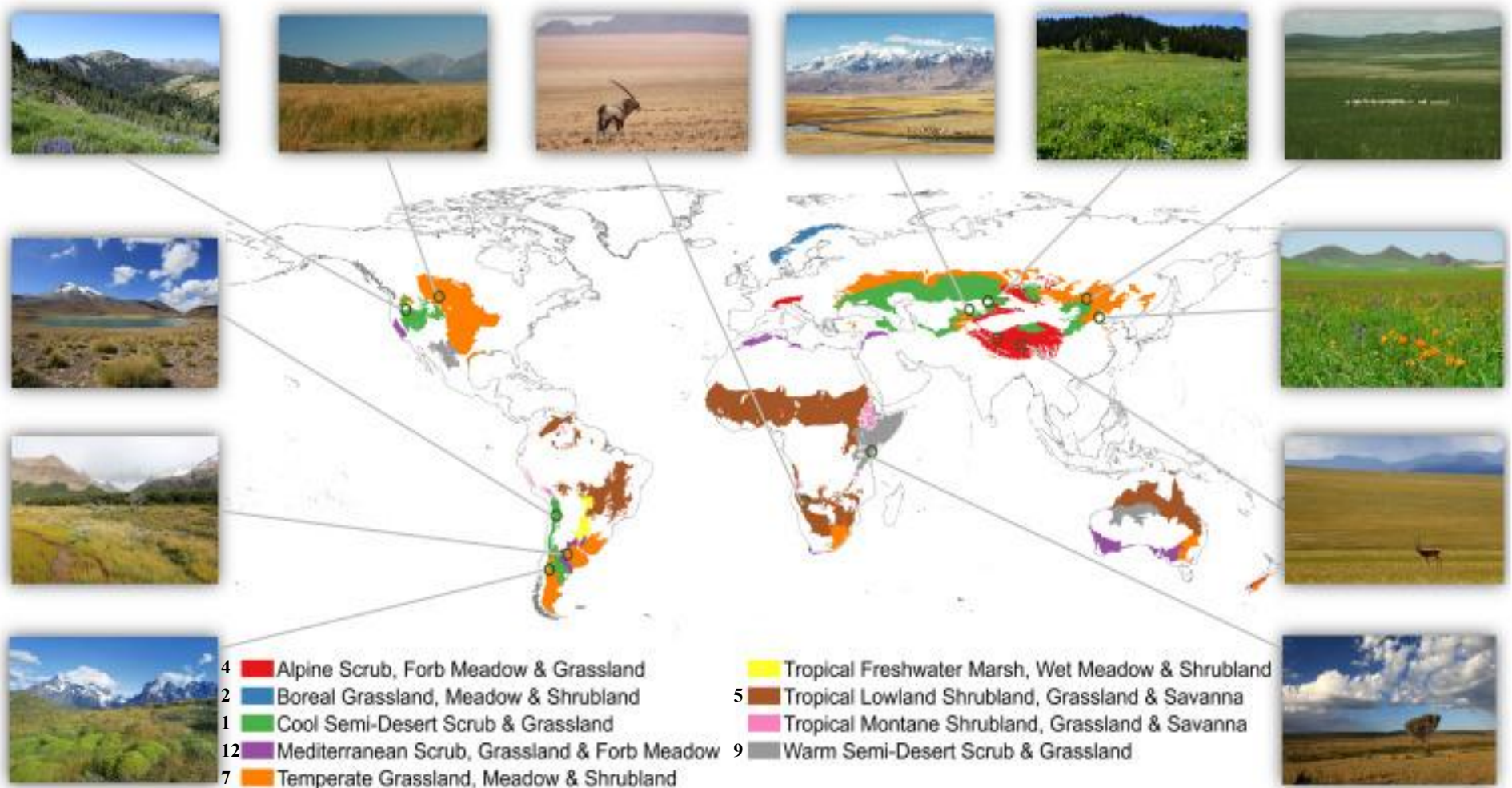


Figure 1. Distributions mondiales des prairies et exemples de paysages de prairies de la planète. Les couleurs de fond montrent le type de prairie dérivé de Dixon et al. (2014).

I.5 Principaux services éco systémiques rendus par les prairies

Par leurs propriétés et leurs fonctions, les prairies sont des réceptacles de propositions de l'agroécologie, pour une transition vers l'agriculture durable.

Les prairies dans leur assertion générale couvrent 31 à 43% (Gibson et Newman, 2019) des habitats terrestres de la planète. Elles présentent à la fois des intérêts agronomiques et écologiques.

Comme le présente le **tableau 6**, les prairies permanentes fournissent de nombreux services écosystémiques (D'Ottavio et al. 2018). Notons que pour simplifier, Mesbahi (2020) préfère utiliser le terme de « propriétés agroécologiques » pour simplifier les définitions et limiter les débats. Chaque prairie permanente a une composition botanique unique issue des conditions du milieu et des pratiques agricoles passées et actuelles, et c'est grâce à cette composition botanique spontanée et diversifiée que les prairies permanentes jouent d'importants rôles pour l'alimentation animale, via la production de fourrage, mais aussi pour l'environnement via l'accueil d'une riche diversité végétale et animale (dont des insectes pollinisateurs), le stockage de carbone, la filtration de l'eau, la prévention des crues et de l'érosion des sols, ou encore la création de paysages ouverts (D'Ottavio et al. 2018). Le **tableau 6** montre un résumé de services écosystémiques fournis par les prairies dans leur assertion générale. Ils sont classés en quatre types selon le MEA : Millennium Ecosystem Assessment (2005) (Mesbahi, 2020).

Les prairies constituent un élément fondamental des systèmes fourragers et des systèmes d'élevage (Farrié et al. 2012). C'est un levier important d'aménagement du territoire, tant en termes de production agronomique qu'en termes d'environnement et de paysage (Jannot, 2008).

Tableau 6. Les services écosystémiques fournis par les prairies permanentes (D'Ottavio et al. 2017).

	Services	Description
Support	<ul style="list-style-type: none"> - Production primaire - Maintien de la fertilité du sol - Habitat : Maintien du cycle de la vie - Connectivité - Diversité génétique 	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la croissance de végétaux - Cycle des nutriments - Habitat pour les espèces - Dispersion des graines - Conservation génétique
Approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> - Nourriture - Fertilisant - Ressources médicinales - Energie 	<ul style="list-style-type: none"> - Lisier et fumier pour fertilisation - Produits biochimiques - Méthane pour énergie
Régulation	<ul style="list-style-type: none"> - Conversion de nourriture non consommable par l'humain - Pollinisation - Régulation du climat - Prévention contre l'érosion des sols - Régulation de l'écoulement des eaux 	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation de végétaux, recyclage des résidus de culture - Rendement, qualité des graines, diversité génétique - Séquestration du carbone - Maintien de la couverture du sol - Drainage naturel,
Culturel	<ul style="list-style-type: none"> - Opportunités de loisirs - Valeur éducative - Héritage culturel 	<ul style="list-style-type: none"> - Eco-tourisme, sport, spectacles - Transmission des savoirs sur la gestion des prairies et des troupeaux - Présence de races locales, identité culturelle

- **Maintien de la biodiversité**

Les prairies sont des réserves de biodiversité floristique et d'habitats pour les vertébrés et la faune invertébrée. Plus de 150 espèces sauvages utilisent les zones ouvertes et les fleurs sauvages des prairies pour répondre à leurs besoins en nourriture, abri et élevage (Saha et Butler, 2017).

Les prairies permanentes non perturbées jouent un rôle important dans la biodiversité du paysage en contrôlant la dynamique des métapopulations (Lemaire et al. 2014) et permettent aux oiseaux de nicher (Saha et Butler, 2017).

- **Maintien de la qualité du sol**

Ce service correspond aux effets de la faune du sol sur la structuration du sol et à son maintien par le chevelu racinaire (Amiaud et Carrère, 2012). En prairies permanentes en particulier, les systèmes racinaires des Graminées prairiales notamment accentuent la densité de ce chevelu. Cette densité produite par les prairies correspond à une part importante de la biomasse produite. Cette dernière est concentrée dans la zone 0-30 cm (Peyraud et al. 2012).

Les prairies forment avec la matière organique en décomposition un tapis racinaire limitant les pertes de sol et favorisant la stabilité de la matière organique (Amiaud et Carrère, 2012).

La matière organique de sol influence les propriétés du sol et agit considérablement sur le cycle des nutriments (Chabbi et Lemaire, 2007). Dans les systèmes prairiaux, la matière organique est incorporée dans les sols à partir du dépôt des litières aériennes (feuilles et tiges) et souterraines (racines) (Chabbi et al. 2012). La teneur en carbone ou en matière organique (MO) des sols est en moyenne plus élevée sous prairie que sous les terres arables. Cette teneur en MO contribue au développement d'un écosystème très diversifié et finalement à la fertilité des sols (Peyraud et al. 2012). La prairie contribue à limiter l'érosion et les transferts par la couverture permanente du sol et son réseau racinaire (Peyraud et al. 2012), augmentant la fertilité et en améliorant la structure du sol (Huyghe, 2010).

- **La régulation hydrique et la qualité des eaux**

Les prairies jouent un rôle important dans la protection de l'eau grâce à une couverture végétale permanente toute l'année.

Les prairies favorisent l'infiltration de l'eau pluviale, agissant comme une éponge (elles peuvent absorber de grandes quantités d'eau issues des pluies), diminuent leur potentiel érosif (Goret, 2015) et limitent le ruissèlement. De ce fait, elles protègent les eaux

superficielles des pollutions phosphatées et des pesticides introduits dans les systèmes cultivés (Lemaire et Pflimlin, 2007).

Les prairies contribuent aussi à stocker de l'azote dans le sol par conséquence permettent de limiter le lessivage des nitrates. D'après Knoden et al. (2016), certaines plantes qui composent la prairie sont capables de pousser à des températures proches de 0 °C, ce qui signifie que la nitrification de fin d'hiver est immédiatement valorisée.

- **Paysage**

Un autre atout des prairies est l'aspect esthétique. Le paysage est un aspect appréciable et agréable pour l'homme. Plusieurs prairies partout sur la terre sont considérées comme des sites touristiques populaires. Ils ont des valeurs récréatives, fonctionnelles et paysagères (Saha et Butler, 2017) et contribuent à ouvrir les paysages et à leur donner un aspect naturel (Ambroise et Toublanc, 2010). La qualité des paysages de prairies confère à ces espaces une valeur esthétique et culturelle très communément partagée, grâce à leur variété de formes, de structures et de couleurs. De plus, certaines espèces annuelles sont choisies pour embellir le paysage avec des fleurs colorées (par exemple *Centaurea*, *Eschscholtzia* et le cosmos) (Sutter et al. 2017).

- **Un habitat et un support alimentaire pour les insectes pollinisateurs et mellifères**

Les prairies riches en diversité floristique (notamment des plantes mellifères visitées par les abeilles), jouent un rôle important dans la pollinisation. Elles favorisent les pollinisateurs par la fourniture de ressources alimentaires tout au long de l'année et en offrant des habitats de qualité pour une faune très diversifiée. Les prairies ont une grande variété d'espèces végétales attirant les abeilles et les autres insectes, qui y trouvent de quoi se nourrir et se nicher.

De manière générale, il existe une corrélation positive entre la richesse, la diversité botanique et la richesse et l'abondance des insectes pollinisateurs (Sutter et al. 2017, Garrido et al. 2019). Certains pollinisateurs rares et/ou menacés sont spécialistes d'une espèce botanique, ou d'un type de fleur. Cependant, les nectars des fleurs qu'ils consomment sont souvent aussi consommées par d'autres espèces pollinisatrices, il est

donc possible de conserver les pollinisateurs rares et communautaires sur une même parcelle (Sutter et al. 2017).

I.6 Les prairies, supports du cycle du carbone

Le carbone (C) est l'élément commun aux différents flux d'énergie (respiration, photosynthèse) qui traversent et alimente les écosystèmes et le cycle biogéochimique qui assurent leur durabilité. On parle de cycle du carbone. Ses réservoirs naturels sur la planète sont : l'atmosphère, la lithosphère : sols et sous-sols et la biosphère : végétaux, animaux et autres organismes vivants et donc à fortiori les prairies (Chapin et al. 2002, Liu et al. 2023).

Les sols de prairies avec ceux des forêts, sont des bons séquestrateurs de carbone dans le sol, bien au-delà des sols cultivés (Arrouays et al. 2002). Selon Mathew et al. (2017) les prairies et les cultures de céréales présentent le plus fort potentiel de séquestration du carbone par leur production élevée de biomasse, qui s'y accumule. Les prairies sont donc d'excellentes sources de stockage de carbone (Saha et Butler, 2017) on parle de puits de carbone.

À l'échelle mondiale, les prairies stockent entre 525 et 634 Pg Carbone (1 Pg = 10^{12} kg = 1 milliard de tonnes), mais en deçà de la capacité de stockage des prairies. Contrairement aux forêts, le C de la biomasse des prairies ne représente qu'une petite fraction du stockage de C de l'ensemble du système, alors que le sol contient 80 à 94% du réservoir total de C des prairies, sous forme de carbone organique du sol (SOC) et de C des plantes (racines, autre biomasse souterraine) (Carvalhais et al. 2014, Yang et al. 2022), dont la persistance peut s'évaluer en décennies, voire en siècles (Schmidt et al. 2011).

La diversité végétale est corrélée positivement avec la productivité des prairies et s'en suit, avec les stocks de C du sol (Hungate et al. 2017, Oram et al. 2018). Chen et al. (2017) expliquent ce résultat par une corrélation négative entre richesse spécifique et dégradabilité des racines mais aussi par le rôle des différentes formes de vie dans le sol : les Graminées, augmentent le ratio C/N (carbone sur azote), les Légumineuses y contribuent aussi, mais à moindre degré (Li et al. 2016). Cependant, la présence et l'abondance d'espèces et de formes de vie n'expliquent pas à elles seules les variations entre stock de carbone : la désynchronisation des espèces et leur diversité des réponses face

aux contraintes environnementales pourraient aussi être un facteur majeur (Fischer et al. 2019, Sasaki et al. 2019).

Il est donc essentiel de comprendre les mécanismes qui régissent les flux de carbone et les réserves dans les prairies pour assurer la conservation et l'utilisation durable des prairies. Bien que le réservoir de C dans les prairies soit plus petit que celui des forêts, il est néanmoins important à l'échelle mondiale, contribuant à environ 25 à 34% du stock de C terrestre mondial (Bai et Cotrufo, 2022). Comme les forêts, le bilan de C des prairies est déterminé par la différence entre l'absorption de C, principalement par la photosynthèse, et les pertes, principalement par la respiration, le lessivage et l'érosion du sol (Liu et al. 2023).

Une plus grande accumulation de C dans le sol dans les communautés végétales riches en espèces n'est pas seulement directement associée à une augmentation de la production aérienne et de la biomasse racinaire (Chen et al. 2018, Yang et al. 2019), mais pourrait également être due à une abondance et une activité accrue de la communauté microbienne du sol en réponse à une plus grande diversité d'intrants végétaux (Lange et al. 2015, 2019)). L'activité microbienne et la composition communautaire sont essentielles pour réguler le cycle du carbone dans les prairies, car les champignons et les bactéries sont les principaux organismes décomposeurs du sol (Liu et al. 2023). La capacité des micro-organismes du sol à minéraliser les apports de C des plantes ou à dégrader la matière organique du sol a une influence majeure sur la capacité de stockage de C du sol (Dignac et al. 2017). L'échange réciproque de ressources entre les végétaux et les communautés microbiennes du sol détermine les processus de décomposition sur lesquels repose le stockage du carbone dans le sol (Van Der Heijden et al. 2008). Les bactéries dominent les processus de décomposition dans les prairies parce que les plantes des prairies produisent généralement une litière labile de « haute qualité » avec un rapport carbone/azote plus faible et une concentration de lignine plus faible que les plantes forestières (Guo et al. 2021), et les bactéries sont de meilleurs concurrents pour la litière labile que les champignons dans les sols neutres ou légèrement alcalins (Bahram et al. 2018). En effet, une synthèse mondiale du cycle de l'azote (N) dans les écosystèmes terrestres a montré que les prairies ont le rapport fongique/bactérien le plus faible, ce qui favorise le cycle rapide des apports végétaux (Deng et al. 2018). En outre, la haute qualité de la litière végétale des prairies favorise également l'efficacité et la croissance de l'utilisation du C microbien, ce qui peut accroître l'accumulation de nécromasse microbienne dans le sol. En effet, la

contribution de la nécromasse microbienne à la formation du COS dans les prairies est 2 à 3 fois supérieure à celle des sols forestiers (Angst et al. 2021).

La séquestration du C dans le sol dépend non seulement de la qualité et de la quantité des apports de C des plantes, mais également de la capacité du sol à retenir et à stabiliser le C organique (Schmidt et al. 2011). Il est de plus en plus évident que la matière organique du sol est en grande partie composée de produits microbiens, et que la formation et la protection de la matière organique du sol sont fortement influencées par la texture du sol (Cotrufo et al. 2013, Castellano et al. 2015, Lehmann et Kleber, 2015). Les sols à texture plus fine ont une surface spécifique plus élevée, ce qui leur permet de séquestrer davantage de C organique par adsorption physico-chimique et stabilisation avec les minéraux du sol, ce qui protège le C d'une décomposition microbienne ou d'un lessivage supplémentaire (McLauchlan, 2006, Cotrufo et al. 2013). En raison de l'interaction entre le renouvellement microbien rapide de la litière végétale et la texture du sol, les prairies contiennent souvent proportionnellement moins de matière organique particulaire (MOP) partiellement décomposée, mais plus de matière organique associée aux minéraux (MAOM) que les forêts (Cotrufo et al. 2019). La forte proportion de MAOM dans les prairies a une signification importante car elle est généralement considérée comme plus stable et moins vulnérable aux perturbations que la MOP (Lehmann et Kleber, 2015, Lavalée et al. 2020). Cependant, les prairies situées dans les régions arides ont non seulement une faible productivité végétale et une faible activité microbienne, mais aussi des sols relativement jeunes avec une texture grossière (Berdugo et al. 2020, Delgado-Baquerizo et al. 2013). Les prairies arides ont donc généralement un stockage de COS inférieur à celui des prairies situées dans des climats plus humides (Berdugo et al. 2020, Montanarella et al. 2015).

Le SOC est généralement considéré comme la majorité du stock de C terrestre, tandis que le C inorganique du sol (CIS) est généralement ignoré (Le Quéré et al. 2016, Zamanian et al. 2021). Toutefois, plus de 90 des réserves de carbone du sol dans les régions arides, où la plupart des prairies sont distribuées, peuvent être inorganiques (An et al. 2019, Monger et al. 2015, Song et al. 2022, Zamanian et al. 2016). Les principaux stocks de SIC sont situés dans des régions à faibles précipitations et à forte évapotranspiration potentielle, ce qui limite la dissolution et le lessivage des carbonates du sol (Liu et al. 2023, Zamanian et al. 2016).

En conclusion de ce sous-chapitre, la séquestration du carbone dans les prairies pourrait fortement atténuer les quantités des gaz à effet de serre des systèmes de production de ruminants (Soussana et Lemaire, 2014). Par conséquent, les propriétés et les processus du sol sont les déterminants le plus crucial de la capacité des prairies à séquestrer le carbone et par conséquent, concourant à l'atténuation des émissions des GES (Bai et Cotrufo, 2022), mais aussi de limiter les processus de lessivage conduisant à l'érosion du sol.

I.7 Les prairies, facteurs d'adaptation au changement climatique

Au niveau de la prairie, qui contrairement aux cultures fourragères comme le maïs, présente l'avantage d'être exploitable toute l'année, le stress climatique estival peut être compensé par une croissance précoce au printemps et plus tardive en automne, voire en hiver (Pottier et Jabot, 2017), lui permettant d'être utilisée à différentes périodes de l'année et de saisir les opportunités climatiques intra année. En effet, l'évolution du climat s'est traduite ces dernières années par des automnes et des hivers plus doux et donc plus favorables à la croissance de l'herbe, malgré des périodes estivales moins favorables. De plus, les prairies semblent montrer une plasticité et une dynamique intéressante face aux aléas climatiques (Tuba et Kaligarič, 2008). La diversité des espèces présentes les rend moins sensible aux aléas climatiques qu'une prairie mono-spécifique, et recule ainsi le seuil critique du stress climatique.

En effet, tabler sur une combinaison d'espèces de caractéristiques différentes en termes de besoin en lumière, en eau et en température, permet de mieux passer des périodes d'aléas climatiques forts (Durand et al. 2016, Hofer et al. 2016). Une espèce pourra par exemple ne pas supporter une période de sécheresse mais un rendement minimum de la parcelle sera assuré par les autres espèces présentes (fétuque élevée, plantain lancéolé, par exemple).

Si la diversité *interspécifique* est un atout, la diversité génétique *intra-spécifique* l'est tout autant, elle peut également renforcer les possibilités d'adaptation (Durand et al. 2016, Meilhac et al. 2019). De même, l'implantation d'espèces plus résistantes à des conditions extrêmes comme des sécheresses intenses est une solution. Plusieurs travaux sont menés pour tester l'intérêt fourrager de telles espèces comme la luzerne, le plantain ou la chicorée (Delagarde et al. 2014, Gauly et al. 2013, Lee et al. 2015), testées en pur ou en mélange à l'échelle de la parcelle (Michaud et al. 2020).

I.8 Les propriétés agronomiques des prairies

- **Paysage, production alimentaire**

Les prairies représentent une des principales ressources fourragères. Elles ont toujours constitué toujours la première ressource alimentaire des élevages d'herbivores et offrent des services fourragers majeurs dans de nombreux territoires et pour une large diversité de systèmes d'élevage (Baumont et al. 2012).

Les prairies jouent un rôle essentiel dans la réduction du déficit fourrager en Algérie en fournissant des unités fourragères (UF) gratuites grâce à leur repousse spontanée. Selon les travaux Abdelguerfi et Hakimi (1990), les prairies naturelles permanentes peuvent jouer un rôle crucial dans la diversification des ressources fourragères et contribuer significativement à la réduction du déficit en fourrage.

L'herbe des prairies permanentes pâturées est l'aliment le mieux adapté et le plus digestif pour les ruminants. La présence d'un grand nombre d'espèces végétale dans une prairie a un effet positif sur la valeur alimentaire (digestibilité et ingestion) de la biomasse produite (Farruggia et al. 2008a). De même, la composition floristique de la prairie peut avoir des effets favorables sur les caractéristiques sensorielles et nutritionnelles des produits fournis : laits, fromages et viandes (Theau et Choisis, 2016) et aussi sur la santé animale par la lutte contre les infestations par les strongles digestifs et en assurant la prévention d'autres affections.

- **Nature des prairies et qualité organoleptiques des produits**

Comme il vient d'être dit, la nature des prairies jouent également un rôle dans la qualité organoleptique des produits animaux. Des liens ont été établis entre le système de pâturage ou le type de prairies avec l'onctuosité, la couleur, la flaveur ou le goût des fromages ont été établis (Jeangros et al. 1997, Lykkesfeldt et Svendsen, 2007, Farruggia et al. 2008b, Coppa et al. 2012). Cette faculté est utilisée pour promouvoir les produits concernés. Ainsi, l'AOP (appellation d'origine contrôlée) a proposé une rosace des arômes de ses fromages, en lien avec la diversité des prairies. De manière plus anecdotique, certaines herbes de foin de prairies diversifiées ont pu être utilisées en cuisine, comme aromates ou sous forme de tisanes (Michaud et al. 2020). Plusieurs fromages AOP de

montagne mettent d'ailleurs en avant ce point dans leur communication, en faveur d'une reconnaissance et une meilleure valorisation de leurs produits. Notons que les produits estampillés AOP sont juridiquement protégés dans toute l'Union européenne.

Par ailleurs, les herbes des prairies sont riches en acides gras de type oméga 3 connus pour prévenir les maladies cardiovasculaires. Une partie de ces acides gras se retrouve dans les produits laitiers (Chilliard et al. 2007). De nombreux travaux sont en cours pour préciser les liens entre la qualité de l'herbe consommée par les ruminants, la qualité des produits animaux (lait, viande, fromage) pour la santé de l'Homme (Martin et al. 2019). Pour l'animale, la composition floristique des prairies, leurs conditions de croissance (climat, sol), le stade et la méthode de récolte, tout comme le mode de conservation de l'herbe (foin, ensilage dont la qualité peut être très variable) jouent un rôle déterminant sur la nature et la quantité de métabolites secondaires dont profitera l'animal (Fraisie et al. 2007) et par la suite l'homme pour la santé humaine : composés phénoliques, terpènes, caroténoïdes, alcaloïdes et quinones (Mulligan et Doherty, 2008, Poutaraud et al. 2017). La teneur de l'herbe en caroténoïdes, précurseurs de la vitamine A ou en polyphénols joue un rôle avéré dans la limitation des phénomènes oxydatifs, à l'origine de maladies infectieuses et inflammatoires (Miller et al. 1993, Lykkesfeldt et Svendsen, 2007, Farruggia et al. 2008b, Durand et al. 2016, Michaud et al. 2020).

- **Valeur économique des prairies**

La valeur économique d'une prairie permanente peut être approchée par le calcul des coûts de production et du potentiel de production, après une étude de caractérisation de la parcelle. Ces prairies autorisent des coûts de production faible comparés aux prairies temporaires, aux prairies artificielles et au maïs ou au sorgho, car elles ne nécessitent ni travail du sol, ni semence ou produits phytosanitaires. Sa diversité floristique des prairies permanentes est un atout car elle peut augmenter la production laitière sans affecter la qualité du lait (Totty et al. 2013, Woodward et al. 2013). Un sol approximatif, caillouteux, trop argileux, relief en pente, parcelle située au bord d'une voie ou d'un plan d'eau très fréquenté peuvent être des facteurs défavorables.

I.9 Potentiel d'apport à la zootechnie, des disciplines scientifiques connexes, travaillant sur les aires d'herbage

Comme nous l'avons vu plus haut, les aires d'herbages dont fait partie les prairies sont le point de rencontre de nombreuses spécialités de la Botanique et des disciplines connexes, souvent impliqués dans l'étude des aires d'herbages : Un lieu de rencontre inopiné sans s'y être invités sinon, la mission d'accomplir un travail, sans se connaître, les rencontres sont fortuites mais révélant ô combien, il y a des interconnexions d'intérêts professionnels, de méthodes de travail qu'elles soient codées et officielles ou acquises sur le terrain avec le temps. Le **tableau 7** présente quelques propositions.

En conclusion et au vu des données de ce tableau, même pas complètement exhaustif, il va sans dire que de nombreuses disciplines connexes à la zootechnie, doivent recéler des trésors de « petites choses » susceptibles de faire avancer les connaissances sur les aires d'herbages.

Tableau 7. Réflexions sur les Apports méthodologiques à la zootechnie des disciplines scientifiques.

Disciplines	Apport à la zootechnie et à l'agronomie
Phytosociologie	Cette discipline étudie la distribution des espèces végétales dans l'espace et le temps, en analysant les associations végétales et en établissant des classifications floristiques des prairies.
Taxonomie végétale	La classification et l'identification des espèces végétales présentes dans les aires d'herbages sont des éléments clés pour comprendre la diversité botanique de ces écosystèmes.
Écologie des communautés	La connaissance de ces interactions pourrait déboucher sur la construction de nouveau type de mélanges d'espèces (plus productifs, plus nourrissants en les favorisant en prairie permanente (ce qui pourrait augmenter la production de biomasse) ou en les cultivant
Écologie végétale	Cette discipline se penche sur les interactions entre les plantes, leur environnement et d'autres organismes. L'écologie végétale est essentielle pour comprendre les processus écologiques dans les prairies.
Physiologie végétale	Étudie les fonctions et les processus internes des plantes, ce qui peut inclure la façon dont les plantes des aires d'herbages répondent aux variations environnementales.
Éthologie	La science du comportement animal. L'étude du comportement des herbivores en pâturage dans les prairies est cruciale pour comprendre leur impact sur la végétation.
Biogéographie	L'étude des motifs de distribution des espèces végétales dans le contexte géographique. Cela peut aider à expliquer pourquoi certaines espèces végétales prédominent dans certaines aires d'herbages.
Gestion des ressources naturelles	Implique des connaissances sur la gestion durable des prairies, y compris la conservation du sol, la qualité de l'eau, et la promotion d'une utilisation équilibrée des ressources.
Agronomie	S'occupe de la science et de la technologie appliquée à la culture des plantes, y compris la gestion des pâturages pour maximiser la production alimentaire.
Géographie physique	Fournit des perspectives sur la distribution spatiale des prairies et des facteurs environnementaux qui influent sur leur développement.

Chapitre II : Méthodes d'études des aires d'herbages : démarche et pratique de mise en œuvre

Dans ce chapitre, nous abordons les approches et les techniques utilisées pour analyser pour analyser et étudier les aires d'herbage. Ce chapitre explore les différentes étapes méthodologiques nécessaires pour étudier ces aires, de la planification initiale à la collecte de données sur le terrain. Il met ensuite l'accent sur les pratiques concrètes de mise en œuvre, illustrant comment ces méthodes peuvent être appliquées dans des contextes réels, afin de fournir des informations précises et utiles pour la gestion et la préservation des aires d'herbages. Il met également en lumière les particularités des aires d'herbage en Algérie.

II.1 Observation non destructive de la végétation : outils et méthodes

II.1.1 Observations visuelles

Phénologie : suivi des stades de croissance des plantes, des périodes de floraison, de fructification et de dormance.

Structure de la végétation : observation de la hauteur, de la densité, de la disposition spatiale et de la distribution des plantes.

II.1.2 Échantillonnage non destructif

Quadrats et transects : utilisation de cadres fixes pour délimiter des zones d'échantillonnage (quadrats) ou pour suivre une ligne (transects) afin de collecter des données sur la composition floristique et la densité végétale.

Méthode de point intercept : utilisation d'une tige pour évaluer la proportion du sol couvert par la végétation à des points d'échantillonnage prédéterminés.

II.1.3 Photographie aérienne et imagerie satellite

L'utilisation d'images satellites combinée à des logiciels tels que QGIS permet de calculer des indices de végétation comme l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) pour évaluer la santé et la densité de la végétation.

II.1.4 Télédétection

Utilisation de capteurs à distance pour mesurer diverses caractéristiques, telles que la chlorophylle, la température de surface, et la réflectance spectrale, sans toucher les plantes directement.

II.1.5 Identification des espèces

Utilisation de guides d'identification, de clés de détermination, et d'applications mobiles pour identifier les espèces présentes sur le terrain.

II.2 Observations, description, mesures sur place et destructives de la végétation

II.2.1 Prélèvement par l'homme

A. Récolte d'échantillons botaniques

Les herbiers et les prélèvements de parties spécifiques de plantes permettent des analyses approfondies en laboratoire pour identifier, classifier et conserver les espèces végétales, tout en répondant à divers objectifs scientifiques et pratiques.

B. Analyse anatomique

Consiste à examiner la structure interne de leurs organes (racines, tiges, feuilles, fleurs, etc.) afin d'en comprendre la morphologie, la fonction et les adaptations aux conditions environnementales. Elle s'appuie sur des techniques microscopiques et des préparations spécifiques.

C. Mesures de la croissance

Marquage et suivi de plantes individuelles ou de parties de plantes pour suivre leur croissance et leur développement au fil du temps. Analyse de cernes de croissance : Prélèvement de carottes de troncs d'arbres pour déterminer l'âge, les conditions de croissance et les changements environnementaux au fil des années ou mêmes des siècles.

D. Analyse chimique

Analyse de la composition chimique : prélèvement d'échantillons pour des analyses de laboratoire afin de mesurer la concentration en nutriments, en métaux, ou d'autres composés chimiques. Chromatographie et spectrométrie : utilisation de techniques analytiques pour étudier la composition chimique des extraits de plantes.

II.2.2 Prélèvement par l'animal

A. Par des méthodes invasives

Sacs œsophagiens : Une fistule est implantée au niveau de l'œsophage afin de récupérer le bol alimentaire prélevé par l'animal, suivi de l'analyse botanique de l'échantillon. L'utilisation d'une fistule œsophagienne a été initialement décrite par Bernard en 1855.

La fistule du rumen : est une ouverture artificielle créée chirurgicalement dans la paroi du rumen. Cette procédure permet d'accéder directement à l'intérieur du rumen, facilitant ainsi la collecte d'échantillons et la manipulation de son contenu. Notons que les méthodes invasives sont interdites dans de nombreux pays.

B. Par des méthodes non invasives

Echantillonnage sur fèces : consiste en l'identification botanique de l'ingérer par analyse des débris végétaux retrouvés dans les matières fécales (Chenost et al. 1985).

Méthode des coups de dents : cette méthode, est basée sur l'observation directe du comportement des animaux sur parcours et le comptage des coups de dents qu'ils portent sur les différentes espèces végétales (bite count). En principe, cette méthode n'est utilisée que pour l'estimation de la composition botanique de la ration d'animaux domestiques ou sauvages (Meuret et al. 1985).

II.3 Etudes de la production de biomasse

La production peut être définie comme étant, la quantité de matière sèche aérienne produite par unité de surface, elle s'exprime en Kg de MS par hectare (Lemaire, 1981). La production de la biomasse est l'une des valeurs les plus importantes dans l'évaluation de la valeur d'usage d'une prairie (Al Haj Khaled, 2005). Elle peut être déterminée par des méthodes destructives ou non destructives.

II.3.1 Méthodes destructives

La mesure destructive est couramment appliquée dans les expériences sur les prairies. Les dispositifs les plus simples sont les outils manuels, tels que les ciseaux, les cisailles, les sécateurs, les faucilles, les couteaux et les faux. Les mesures de biomasse se font par échantillonnage et par coupe. L'herbe est coupée à la cisaille ou à la faucille, à l'intérieur d'un carré de 1 m² (Velthof et al. 2014). Il y a plusieurs façons de faire le prélèvement sur le couvert végétal (Dury, 2006). Il peut s'effectuer en faisant 6 prélèvements, ou plus, de 0.5 m² afin de déterminer le rendement, et au moins 500 grammes de matière verte de chaque échantillon sont conservés pour les analyses de laboratoire. Les échantillons doivent être acheminés rapidement au laboratoire pour éviter la fermentation qui influe sur la teneur en azote. Les échantillons peuvent être également congelés.

Pour mesurer la biomasse au champ, il faut réaliser des quadrats de 1 m² ou 250 cm² sur au moins 3 points différents (3 prélèvements de 1 m² ou 6 prélèvements de 0.5 m²) pour tenir compte de l'hétérogénéité de terrain. La hauteur de coupe est de 5cm du sol (Cook et Stubbendieck, 1986).

II.3.2 Méthodes non destructives

L'échantillonnage destructif nécessite une main-d'œuvre et/ou un équipement important. Cela peut s'avérer coûteux et conduire à un nombre insuffisant d'échantillons, ce qui se traduit par une faible précision. L'échantillonnage destructif empêche également de mesurer l'évolution de la couverture végétale dans la zone d'échantillonnage. Les méthodes non destructives utilisées sont souvent des techniques de double échantillonnage, c'est-à-dire que deux méthodes se chevauchent. L'une consiste à déterminer avec précision le rendement en MS de quelques échantillons (étalons) et l'autre à procéder à une estimation

visuelle, à une lecture de la hauteur ou de la capacité de l'herbe dans de nombreux échantillons, y compris les étalons (Velthof et al. 2014).

Les équations de régression entre le paramètre de non-rendement estimé et le rendement en MS des étalons fournissent l'étalonnage de la technique. Par conséquent, les techniques non destructives nécessitent toujours la coupe d'échantillons, mais la quantité à couper est faible et, si nécessaire, la coupe peut être limitée à une zone de la même couche qui est en dehors de la zone de mesure ou de traitement (Velthof et al. 2014). Cette méthode constitue une meilleure alternative par rapport aux méthodes destructives. Elle est plus rapide que la méthode destructive et peut être utilisée pour des investigations lorsque la collecte de données dans le temps est nécessaire.

II.3.3 Télédétection

La télédétection s'est révélée être un outil important pour le suivi des classes d'occupation du sol, y compris les prairies. La pertinence de la télédétection en tant que source d'information pour les prairies est conditionnée par les caractéristiques du capteur : résolution spatiale, résolution spectrale et résolution temporelle (Velthof et al. 2014).

La télédétection peut contribuer à identifier spatialement la classe d'occupation du sol des prairies et, dans certains cas, des types spécifiques de prairies. Il existe de nombreux systèmes locaux et régionaux de classification des prairies. Dans la plupart des cas, la composition floristique joue un rôle important et n'est pas facile à distinguer à partir de l'imagerie satellite. La télédétection peut contribuer à l'identification des paramètres des prairies, notamment l'indice de surface foliaire, la fraction du couvert, l'ombre du couvert, l'écart dans la fraction du sol (par exemple, la terre nue), la teneur en biomasse et la couverture du couvert végétale du sol (Atzberger, 2013, Rast et Painter, 2019).

L'utilisation d'informations satellitaires est particulièrement précieuse lorsque des zones étendues et/ou éloignées sont étudiées. Cela permet de réduire les dépenses liées aux campagnes de terrain, d'acquérir des ensembles de données objectives et d'élaborer des plans d'étude facilement reproductibles. Les capteurs optiques peuvent être utilisés pour obtenir des informations sur la verdure, la vitalité et la densité des zones végétalisées. Outre les capteurs optiques multispectraux, tels que le radiomètre avancé à très haute résolution (AVHRR), le MODIS, la flotte Landsat et Sentinel-2, il existe également des capteurs

hyperspectraux spatiaux, tels que Hyperion ou CHRIS/Proba. Les données hyperspectrales peuvent être exploitées pour extraire des variables biophysiques et biochimiques de la végétation et présentent l'avantage d'une résolution spectrale plus élevée (Transon et al. 2018, Rast et Painter, 2019). L'utilisation de données de télédétection permet donc d'obtenir des informations sur la quantité et la qualité des prairies sur de grandes échelles spatiales, en partie de manière automatisée. En outre, les prairies révèlent potentiellement de fortes variabilités intra- et interannuelles, en particulier en cas d'intensification d'origine humaine (Reinermann et al. 2020). La meilleure façon de surveiller ces variabilités est d'utiliser des informations satellitaires répétées avec une résolution temporelle moyenne à élever. En outre, la résolution spatiale du capteur joue un rôle important. Il existe des parcelles de prairies relativement petites (moins d'un hectare), en particulier dans les paysages exploités de manière intensive, et leur surveillance nécessite des informations satellitaires spatialement détaillées (Reinermann et al. 2020).

II.4 Méthodes de détermination de la composition botanique des prairies

Des typologies botaniques ont été construites avec une approche fonctionnelle de la composition en espèces, qui permet de rendre compte de la valeur d'usage agricole. Les prairies ont ainsi été distinguées selon leur précocité, leur potentiel de productivité, et la richesse en formes de vie (Graminées, Légumineuses et diverses). Elles ont aussi été distinguées selon les différents modes de conduite qui ont été identifiés sur le terrain (prairies fauchées une fois, prairies fauchées deux fois, prairies pâturées et prairies mixtes) (Lang, 2015).

Différentes méthodes ont été développées et utilisées au cours du siècle dernier dans le monde entier pour décrire la végétation des prairies (Hanson, 1934, Braun-Blanquet, 1951, Johnston, 1957, Schechtner, 1958). De nombreux auteurs ont prêté attention à la fiabilité, à la reproductibilité et à la comparabilité des différentes méthodes (Goodall, 1952, Everson et al. 1990, Traxler, 1999).

Les méthodes les plus fréquemment utilisées sont décrites dans les paragraphes suivants, la description étant principalement axée sur les questions opérationnelles.

II.4.1 La méthode phytosociologique

La méthode phytosociologique (**Braun-Blanquet, 1951**) consiste à dresser la liste des plantes présentes dans un échantillon représentatif et homogène du tapis végétal et en opérant strate par strate. Elle est basée sur le recouvrement des espèces présentes dans l'aire du relevé. Le relevé se fait à l'échelle d'une station, c'est-à-dire sur une surface où la végétation est homogène et les conditions écologiques le sont aussi (c'est-à-dire une surface la plus représentative possible de la parcelle). Les espèces définies sont affectées d'un coefficient d'abondance-dominance représenté par le **tableau 8**.

Cette méthode présente l'avantage d'être rapide à mettre en œuvre, environ 30 minutes par parcelle. Elle ne permet pas de faire un relevé exhaustif des espèces présentes mais des espèces constituant le fond prairial. Il est important de préciser que la somme des notes peut représenter un recouvrement supérieur à 100% (Lang, 2015).

Tableau 8. Echelle de notation d'abondance dominance inspirée de Braun-Blanquet (1951).

Recouvrement de l'espèce	Coefficient d'abondance
75-100% de recouvrement	5
50-75% de recouvrement	4
25-50% de recouvrement	3
Très abondant ou recouvrement 5-25%	2
Centaine d'individus ou recouvrement de 1-5%	1
Quelques Dizaines d'individus	+
1 individu ou très peu	*

II.4.2 Méthode des poignées

Cette méthode se caractérise par une intensité d'échantillonnage élevée avec la prise de poignées (25 ou plus) le long d'un transect (Theau et al. 2010). Pour chaque poignée,

une note d'abondance est donnée subjectivement aux espèces qui semblent le plus contribuer au couvert végétal.

II.4.3 Méthode Botanal

La méthode Botanal (Tothill et al. 1992) est une technique moderne pour mesurer le rendement, la composition botanique et d'autres attributs importants des pâturages. Elle utilise plutôt des cadres de 0.2 m² et nécessite une pression d'échantillonnage plus faible (12 à 15). Pour chaque cadre, la notation de l'abondance se fait par une estimation de l'abondance visuelle des espèces les plus contributives au volume (Theau et al. 2010).

Selon Theau et al. (2010), la méthode Botanal et la méthode des poignées utilisent un transect au sein de la parcelle, lequel traverse éventuellement les différents faciès de végétations, par opposition à la méthode phytosociologique qui est plutôt utilisée pour travailler sur un seul faciès de végétation.

II.4.4 La méthode simplifiée

La méthode simplifiée de Theau et al. (2010) limite le temps nécessaire à l'établissement d'un relevé de végétation sur une parcelle. Elle combine deux méthodes, celle des poignées (Vries et Boer. 1959), et celle dites de Botanal (Tothill et al. 1992).

Ces deux méthodes utilisent un transect au sein de la parcelle, lequel traverse éventuellement les différents faciès de végétations. L'échantillonnage sous forme de cadres qui permet de limiter le nombre d'observations tout en augmentant la surface étudiée. Pour l'évaluation de l'abondance des espèces, une adaptation du système de notation proposé par Vries et Boer, (1959) permet, de ne travailler que sur les espèces dominantes. Ainsi, ces auteurs estiment que pour une caractérisation agronomique des parcelles, le poids des principales espèces qui dominent dans la biomasse (ou abondance) est suffisant (Theau et al. 2010)

II.5 Méthodes d'études de la valeur nutritionnelle et alimentaire des fourrages, sur aire d'herbages

La valeur alimentaire exprime le potentiel d'apport en éléments nutritifs d'un aliment à un animal donné (Vignau-Loustau et Huyghe, 2008). La notion de valeur alimentaire est

en particulier utilisée pour exprimer le potentiel d'apport en énergie des aliments, car elle est le facteur le plus limitant dans les apports alimentaires chez les ruminants (Huyghe et Delaby, 2013).

Selon Demarquilly (1977), la valeur alimentaire d'un fourrage est caractérisée d'une part, par sa valeur nutritive (principalement, sa valeur énergétique) qui elle-même, dépend de la digestibilité de la matière organique ; sa valeur azotée, sa teneur en minéraux et en vitamines et d'autre part, par son ingestibilité, c'est-à-dire par la quantité de matière sèche ingérée par le ruminant à qui le fourrage est offert à volonté, tout comme l'eau de boisson.

Depuis les années 1960, la recherche sur la valeur alimentaire des fourrages s'est concentrée sur la digestibilité et l'ingestion (Mannetje, 2002). Les facteurs limitant la valeur alimentaire des fourrages, en particulier des Graminées, sont les suivants :

- Une teneur élevée en parois cellulaires qui par sa faible et trop lente dégradation dans le rumen entraîne une diminution du turnover des particules alimentaires dans le rumen augmentant l'encombrement de celui-ci l'ingestion volontaire de l'animal se trouve ainsi réduite (Wilson, 1985) tout comme la digestibilité du fourrage.
- Une dégradation relativement importante des protéines dans le rumen entraînant une faible absorption des protéines, souvent due à un rapport protéines/énergie élevé de l'aliment, ce qui réduit l'efficacité de l'utilisation de l'azote et augmente les émissions d'azote dans l'atmosphère, délétère pour le climat et pour l'environnement (Valk, 1994).

Plusieurs méthodes sont employées pour déterminer la valeur alimentaire des fourrages. **Le tableau 9** présente une synthèse de ces méthodes.

L'ingestibilité est définie comme le potentiel d'ingestion d'un aliment par un animal. L'acte d'ingestion consiste pour le ruminant, de remplir le rumen avec des aliments solides dont les fourrages en constituent l'essentiel (Huyghe et Delaby, 2013).

En général, l'ingestibilité a été mesurée avec des moutons, mais des mesures avec d'autres animaux standard comme des génisses (ou des taureaux) et des vaches laitières sont possibles (Dulphy et Demarquilly, 1994).

De très nombreuses méthodes pour la mesure de l'ingestibilité sont établies. Elles peuvent être classés soit directes, soit indirectes. **Le tableau 10** résume l'essentiel de ces méthodes.

Tableau 9. Tableau comparatif des différentes méthodes de détermination de la digestibilité chez les ruminants (Roberge et Toutain, 1999).

Méthode		Principe	Avantages	Inconvénients
Méthode directe dite de référence (in vivo) (Demarquilly et Jarrige, 1981)		<p>Les mesures de digestibilité s'effectuent sur des lots de 3 à 6 béliers en fin de croissance et en bon état de santé, maintenus en cages à métabolisme.</p> <p>Le fourrage est distribué soit à volonté soit en quantités précises. L'eau de boisson est distribuée à volonté.</p> <p>Cette méthode est comprise deux périodes une pour l'adaptation, elle dure 2 à 3 semaines et une période expérimentale qui dure 10 à 15 jours pendant laquelle s'effectuent des mesures quotidiennes de l'aliment distribué, refusé et la récolte des fèces.</p> <p>Analyse chimique des échantillons collectés.</p>	<p>Méthode précise, permet de donner de bonne estimation de la digestibilité de la matière organique (MO) des aliments.</p> <p>La manipulation est facile avec des moutons (quantité de l'aliment distribué, refusé et la collecte des fèces).</p>	<p>La méthode est coûteuse nécessitant au minimum 3 moutons et au moins, un mois à deux mois de travail en comptant les analyses de laboratoire.</p> <p>Les pertes de fourrage par gâchis de l'animal, peuvent conduire à surestimer les quantités refusées</p>
Méthode Indirecte	Méthodes microbiologiques (Tilley et Terry, 1963)	<p>Le fourrage est introduit dans un tube fermé avec du jus de rumen mélangé à de la salive artificielle et mis en incubation pendant 48 heures dans des conditions physico-chimiques proches de celles du rumen.</p> <p>La digestion microbienne est suivie d'une deuxième attaque de 48 heures par une solution acide de pepsine, simulant la digestion enzymatique dans la caillette et dans l'intestin.</p> <p>Le taux de matière sèche ou de matière organique disparue à l'issue des deux phases est appelé digestibilité <i>in vitro</i>.</p>	<p>Coût et temps réduits.</p> <p>Permet de déterminer la digestibilité avec une grande précision (l'écart-type résiduel des estimations de la dMO est voisine de 2 points).</p> <p>Cette méthode utilise un appareil simple : elle est reproductible et de nombreux échantillons peuvent être traités en série.</p>	<p>Les prévisions sont moins précises avec des fourrages pauvres en azote qui peuvent limiter l'activité microbienne.</p>
	Méthode in sacco (Mehrez et Orskov, 1977)	<p>La méthode <i>in sacco</i>, ou des sachets de nylon, est basée sur le même principe que celle de Tilley et Terry mais la première phase a lieu <i>in situ</i>, c'est-à-dire dans le rumen des animaux fistulés où sont introduits des sachets de tissu aux mailles standardisées, perméable à la flore microbienne, contenant les microéchantillons de fourrages.</p>	<p>Cette méthode permet de laisser les sachets en nylon dans le rumen pendant 12 à 96 heures, ce qui permet de faire des études de cinétique de digestion microbienne dans les conditions physiologiques réelles. Elle est appliquée à la MO, aux fibres et aux matières azotées, nécessaire au calcul des PDI.</p>	<p>La précision est plus faible pour les fourrages lignifiés et pauvres en azote.</p> <p>Méthode laborieuse.</p> <p>Nécessite des animaux fistulés.</p>

Tableau 9 (suite). Tableau comparatif des différentes méthodes de détermination de la digestibilité chez les ruminants (Roberge et Toutain, 1999).

Méthode	Principe	Avantages	Inconvénients	
Méthode Indirecte	Gaz-Test (Menke et al. 1979)	Consiste à fermenter les substrats fourragers dans des seringues en verre de 100 ml avec l'inoculum (jus de rumen et salive artificielle), et on mesure la quantité de gaz produit, pour chaque seringue, la lecture du volume des gaz a eu lieu après 0, 2, 4, 6, 8, 48, 52 et 72 h d'incubation. La production nette de gaz aux différents moments est exprimée en ml/seringue.	N'exige pas de grandes quantités d'échantillon. Moins de temps de travail et la lecture est directe ou automatisée.	La marge d'erreur lors de la lecture de la quantité de gaz produite.
	Méthodes enzymatiques Aufrère et Demarquilly (1989)	L'échantillon subit deux attaques successives par deux types des enzymes diluées dans des solutions tampons appropriés : Un prétraitement de 24 h par la pepsine en milieu acide chlorhydrique 0.1 N suivi d'une hydrolyse à 80° 30 min exactement ; Un traitement par la cellulase dans un tampon acétate de sodium 0.05 M, pH 4.6 pendant 24 h.	Les résultats de la dMO sont meilleures qu'avec les méthodes chimiques et équivalentes à celle obtenues <i>in vitro</i> .	Disponibilité et le coût des réactifs. L'application de cette méthode sur des fourrages contenant des tanins est cependant délicate car l'effet des tanins sur l'activité enzymatique est difficile à quantifier.
	Méthode chimique Détermination des constituants pariétaux (Van Soest, 1963)	L'échantillon est successivement soumis à l'action de détergents neutres puis acides et finalement à l'action de l'acide sulfurique concentré dans des conditions standards censés solubiliser des produits assimilés aux diverses composantes pariétales. Les pertes de poids, éventuellement corrigées des teneurs en cendres, permettent d'apprécier la composition pariétale des produits analysés.	Permet d'estimer les teneurs en parois totales NDF, en lignocellulose en ADF et en lignine ADL. Il permet aussi d'estimer le degré de lignification des parois par le rapport ADL/NDF et ADL/ADF.	Matérielles lourd et coûteux. Une tache nécessite beaucoup de précision et de temps. Mais aussi nécessite des modèles statistiques pré- établis pour aboutir à la digestibilité, à la valeur alimentaire et même à l'ingestion.
	Spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR)	Elle consiste à analyser le spectre de radiation d'une source de lumière monochromatique, de longueur d'onde comprise entre 1100 et 2500 nanomètres, réfléchié par les particules des fourrages.	L'intérêt de cette méthode repose sur sa grande rapidité, son faible coût et sur l'application des modèles à de grandes séries d'échantillons.	Nécessite le développement d'une large gamme de valeur de références pour développer des équations de calibrations plus robustes.

Tableau 10. Les méthodes de mesure de l'ingestibilité des fourrages (Chibani, 2013).

Méthode		Principe	Avantages	Inconvénients
Méthode directe « <i>in vivo</i> »		Mesure quotidienne du distribué et des refus, pour déterminer la quantité ingérée sur 6 sujets en moyenne logés en cages individuelles ou en lots, tout dépend du but de l'objectif. Une période de 10 à 15 jours est recommandée : 3 à 6 semaines après une adaptation de 15 jours.	Est la seule qui donne une précision satisfaisante	Longue et couteuse en animaux et en aliments.
Méthode indirect (prévision par des équations)	Age et composition chimique des fourrages	Consiste à établir des régressions simples ou multiples à partir de nombreuses mesures de l'ingestion « <i>in vivo</i> » de la composition chimique des fourrage (MAT, CB, NDF, ADF, ADL) et de l'âge des fourrages.	La précision est acceptable si le nombre d'individus approchent la trentaine.	Travail très long et Précision moyenne
	Méthodes biologique (In situ et le gaz test)	Même principe que la méthode chimique, ou les composants chimiques sont remplacés par les paramètres de dégradations des fourrages (a, b, a+b) ou la cinétique de dégradation (72h et 96h).	Ces techniques associées aux composants chimiques donnent de meilleures équations de prédiction.	L'association de plusieurs techniques nécessite plus de travail.
	Techniques des marqueurs	Implique la connaissance des composants naturels indigestibles des fourrages. Tel : la lignine, les alcanes et les cendres insoluble excrété dans les fèces.		L'échantillonnage doit être le plus représentatif possible de l'ingérer.

II.6 Les aires d’herbage en Algérie

Nous avons montré plus haut qu'il est difficile, à l'échelle mondiale, de définir précisément les termes « prairie » ou « aire d’herbage ». Cela s’explique par le fait qu’ils représentent le dernier « fragment » issu des multiples divisions que l’espace terrestre a connues depuis que l’humanité, consciente de l’immensité de la Terre, a choisi de la parcelliser pour mieux la dominer ou la préserver.

❖ Notions d’éco-zones

C’est une unité écologique de taille continentale ou sous-continentale, utilisée par les biogéographes. Le nom a été créé en 1975 par Udvardy. Il s’agit d’une partie de la surface terrestre qui représente une unité **écologique** caractérisée par sa faune, sa flore et par son histoire géologique propre (on parle aussi de région biogéographique terrestre). L’éco-zone est la plus large division biogéographique des terres émergées (Continents et Iles).

Elle est elle-même, divisée en biomes terrestres (au nombre de 14), en écorégions (ou éco-provinces, au nombre de 867), puis en **écosystèmes parmi lesquels les « Prairie » y sont assimilées** (Wickens, 2013). Il existe également un classement mondial des types de végétations. Pour Dixon et al. (2014), il existe de par le monde, 50 divisions de types de végétation : mêmes les spécialistes relativisent si on en croit le CBN_{France} : « *Quand on parle de roselière, de forêt, de tourbière ou encore de prairie, finalement on parle là de grands types de végétation* ». Même les spécialistes s’y perdent !!

La Terre compte 8 éco-zones appelées : Néarctique, Paléarctique, Afrotropique, Indomalais, Australasien, Néotropique, Océanien et Antarctique (**Figure 2**). Le Paléarctique et le Néarctique sont parfois regroupés dans la grande écozone Holarctique. (Boulot, 2009).

Les territoires ainsi délimités sont de taille très différente : de 54 à 1 millions de kilomètres carrés (km²) comme le montre le contenu du **Tableau 11**. Par comparaison, on peut se rendre compte du gigantisme de certaines éco-zones terrestres, quand on sait que l’Asie, le plus grand continent de la planète mesure 44 millions de km² contre 54 pour le Paléarctique. L’écozone peut s’étendre sur plusieurs continents ou partie de continents différents, c’est le cas du Paléarctique la plus grande des écozones (Europe, Afrique du

Nord, les 2 tiers de l'Asie du Nord, le centre et le nord de la péninsule arabique comme illustré par la **figure 2**. L'Algérie est donc positionnée dans le Paléarctique, émergé au Paléogène (65.5 à 23 Ma) avec l'Europe, l'Asie du Nord jusqu'aux contreforts de l'Himalaya, l'Afrique du Nord, centre et Nord de la péninsule arabique. Il est remarquable de constater que la surface totale des EZ correspond à celle des terres émergées : 148 millions de km² (**tableau 11**). L'Algérie est située dans la plus vaste des huit EZ terrestres : le Paléarctique, d'une superficie de 54.1 millions de km² (**tableau 11**). L'ensemble touche, 129 pays (entièrement ou partiellement) soit, 67% des 193 pays que compte l'ONU.

Il en découle que l'Algérie partage avec ces pays, bon nombre d'écosystèmes prairial et de surfaces en herbes de mêmes types.

Les hommes de ces vastes espaces de pâturages terrestres depuis des siècles ont su, en tirer profit en fonction des caractéristiques écologiques et pédoclimatiques de chaque EZ et des espèces d'herbivores qui y étaient endémiques ou importées, en imaginant des systèmes de production (SdeP) adaptés (Harari, 2012).

Tableau 11: Eco zones terrestres de la planète : taille et principales localisations géographiques (Boulot, 2009) complété par différentes sources.

N°	Nom	Taille (Millions km ²)	Localisation géographique
1	Afrotropical	22.1	L'Afrique Sud Saharienne, Madagascar, Sud de l'Arabie, de l'Iran, Sud-ouest du Pakistan et Iles de l'ouest de l'océan Indien.
2	Australasien	7.7	Indonésie (est de Bali et de Bornéo), le Timor, l'Australie, Nouvelle Zélande, la Mélanésie, Vanuatu, Nouvelle-Guinée, les Iles Salomon et la Nouvelle-Calédonie.
3	Indomalais	7.5	S'étend du Pakistan à l'Ouest, au Sud et à l'Est de la Chine à travers le sous-continent indien.
4	Paléarctique	54.1	Europe ; Asie du Nord jusqu'aux contreforts de l'Himalaya ; l'Afrique du Nord ; centre et Nord de la péninsule arabique.
5	Néarctique	22.9	Amérique du Nord, Groenland, Nord du Mexique
6	Néotropique	19.0	Sud du Mexique ; Floride, l'Amérique centrale et les îles des Caraïbes et Amérique du Sud.
7	Antarctique	14.0	Inclut le continent Antarctique, partie émergée du plateau des Kerguelen et divers Iles de l'océan Atlantique et Indien.
8	Océanien	1.0	C'est la plus petite écozone terrestre, elle inclut les Iles de l'océan Pacifique de la Micronésie.
Total		148.3 qui représentent la totalité des terres émergées.	

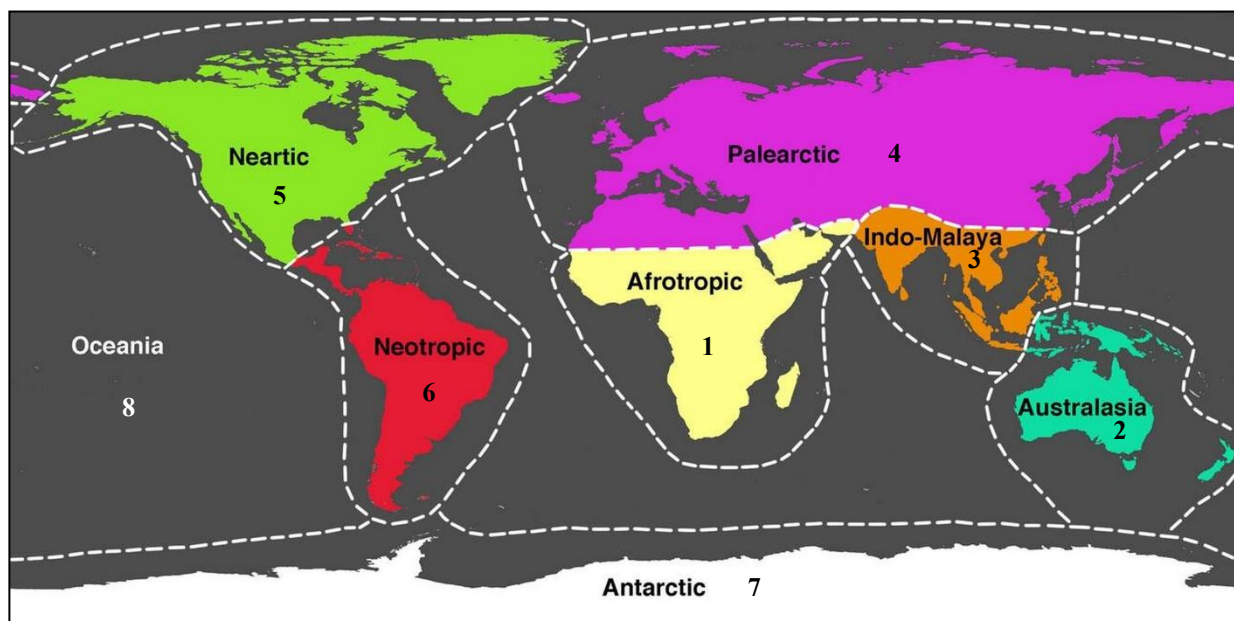


Figure 2. Distribution géographique sur la planète des huit écozones terrestres officielles (source : <https://www.sciencephoto.com/media/667430/view/earth-s-ecozones>).

❖ Paysages de pâturages algériens

A l'image de la planète dont les surfaces totales (ST), celles agricoles (SA) et celles pâturées (SP) ont été données (voir introduction, plus haut), L'Algérie n'échappe pas à cette statistique distributive des terres. Pour ces trois entités (ST, SA et SP), la correspondance pour l'Algérie est respectivement de 238 millions d'ha, 41 millions d'ha (18%) et de 33 millions d'ha. De ces 33 millions de SP algérien : 87.7% sont occupés par les parcours steppiques et par des pacages, 10.6% par la jachère, 1.6% par les cultures fourragères et 0.17% par les prairies permanentes (Nedjraoui, 2003, Rami et al. 2021). Plus concrètement et plus en couleur, la **figure 3** illustre et présente la distribution dans le pays des différentes aires de pâturage. **Annexe 1** et **annexe 2** donne plus de détails sur la **figure 3**.

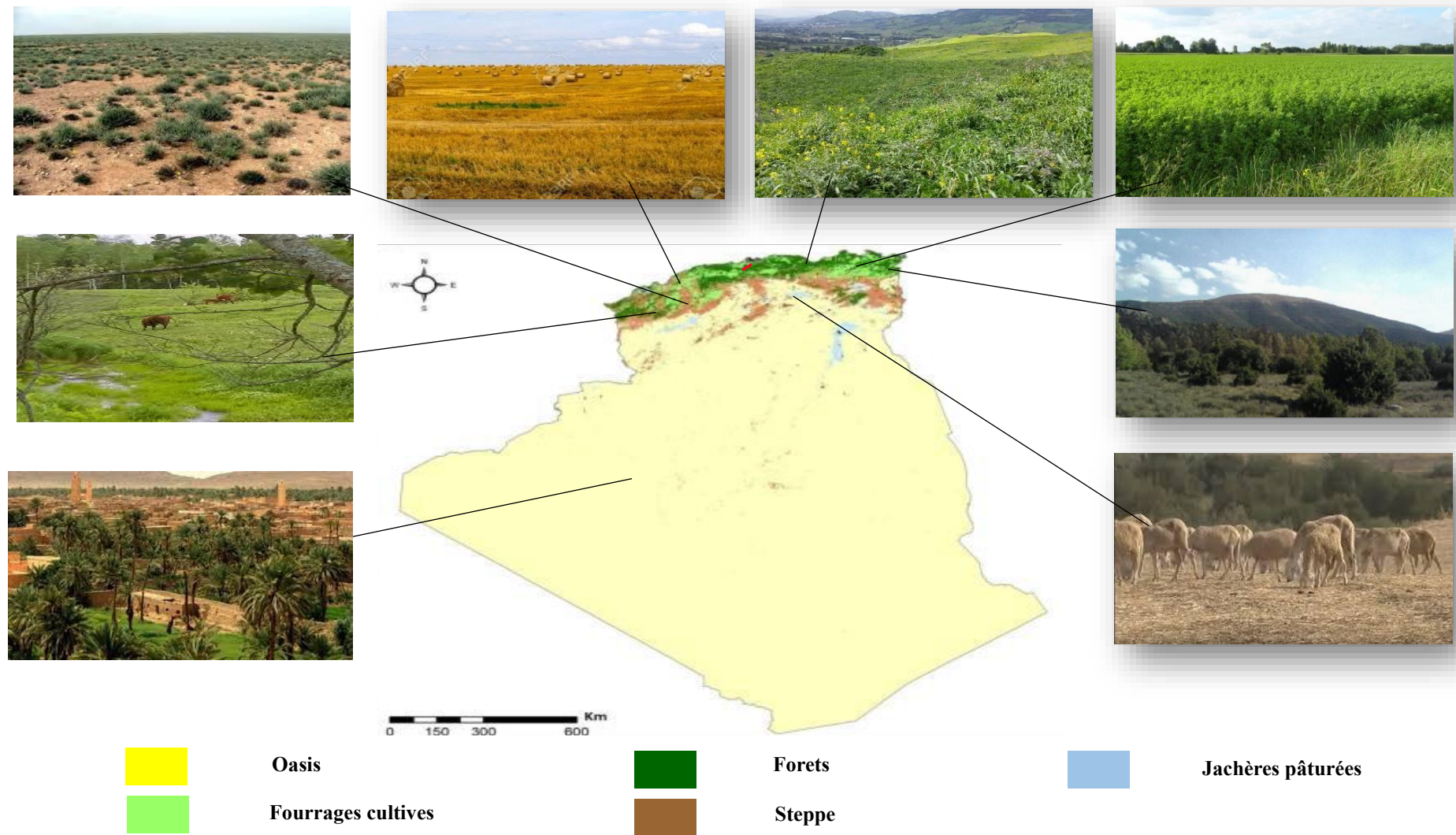


Figure 3. Distribution des différentes aires d'herbages en Algérie. Les couleurs d'arrière-plan indiquent le type des aires d'herbages d'après Rabehi et al. (2020).

❖ Utilisation par l'homme des aires de pâturages algériens

Le pays est situé dans la plus vaste des huit EZ terrestres : le Paléarctique, d'une superficie de 54.1 millions de km² (**Tableau 11**) est composé **partiellement ou totalement, de 129 pays soit, 67% des 193 pays que compte l'ONU**. Les hommes de ces vastes espaces de pâturages terrestres depuis des siècles ont su, en tirer profit en fonction des caractéristiques écologiques et pédoclimatiques de chaque EZ et des espèces d'herbivores qui y étaient endémiques ou importées, en imaginant des systèmes de production (SdeP) adaptés.

La FAO (1999), dans une vaste enquête sur les systèmes d'élevage mondiaux ont relevé 12 principaux types de systèmes de production dont 2 sont en forte représentation en Algérie : LGA (pour Système basé sur les prairies des zones tropicales et subtropicales arides et semi-arides) et MRA (pour Système de culture pluviale des zones tropicales et subtropicales arides et semi-arides). Situés dans des zones de précipitations allant de 600 à 300 mm de pluies, ils sont caractérisés par une période de croissance de la végétation de moins de 180 jours et sont de faible productivité : 100-150 UF/ha (Nedjraoui, 2003). Accessoirement, Steinfeld et Mäki-Hokkonen. (1995) indiquaient aussi, le SdeP MIA, pour Arides et semi-arides tropicales et subtropicales système mixte si possibilités d'irrigation. Ces trois systèmes de production dominant dans le pays valide son positionnement dans l'écozone **Paléarctique** si besoin en était (**Tableau 12**).

Tableau 12. Les systèmes d'élevage algérien dans la nomenclature mondiale de la FAO.

	Description des systèmes selon la FAO	Correspondance possible en Algérie
LL	Système de production intensive utilisant peu de terre. Dans ce système, plus de 90% de la MS ingérée par le bétail n'est pas produit dans la ferme. Pour le ruminant, la charge à l'hectare est supérieure à 10 UGB / an	Système inconnu
LLR	Système très intensif de production de bovin et ovin : viande et lait utilisant des races spécialisées à haut rendement.	Pas bien visible
LGT	Système intensif à forte utilisation de prairie exploitant des bovins plus particulièrement les vaches laitières. En hiver la pousse de l'herbe est entravée par les basses températures.	Système inconnu
LGH	Système à prairie pour gros ruminants où le pâturage dans l'année est concerné pour plus de 180 jours Se concentre davantage dans les zones subhumides. Objectif : lait, viande.	Pas bien visible
LGA	Le système basé dans les régions tropicales et subtropicales d'une période de croissance de la végétation de moins de 180 jours, et où le pâturage des ruminants est dominant pour utiliser les terres. LGA constitue une façon traditionnelle de subsistance pour une partie importante de la population. Avec la croissance démographique, le LGA tend vers le MRA	Algérie du Nord, parcours d'altitude et les plaines. Fournit 78% de la production de viande bovine et 40 de celle de lait.
MRT	Allie, culture et élevage ; les cultures contribuant pour au moins 10 pour cent de la valeur totale de la production agricole.	Peu visible
MRH	Système d'exploitation mixtes dans les régions à température et humidité élevées. Les races de ruminants y sont bien adaptées l'élevage joue un rôle multiple : transport, traction, fumiers.	Hauts plateaux
MRA	Système caractérisé par une période de croissance de la végétation d'une durée de moins de 180 jours. Faible productivité de la terre résultant d'une faible pluviométrie. Système où prédominent les petits ruminants, notamment caprins.	Sahara central
MIT	Système de production intensive caractérisé par une croissance limitée de la végétation pendant la période froide et un déficit hydrique en période chaude, l'irrigation y est très développée.	Inconnu
MIH	Système mixte dans les régions tropicales et subtropicales où la croissance des plantes a une durée de plus de 180 jours, et dans laquelle l'irrigation des cultures est importante.	Inconnu
MIA	Système mixte de régions arides et semi-arides, où l'irrigation est possible. Les parcours sont disponibles en plus des terres irriguées. Les cultures sont les ressources principales du système et l'élevage des petits ruminants, dominant.	Hauts plateaux

LL : Landless Livestock ; LLR : Landless Livestock Ruminants ; LGT : Livestock Grassland Temperate ; LGH : Livestock Grassland Humid ; LGA : Livestock Grassland Arid ; MRT : Mixed Rainfed Temperate ; MRH : Mixed Rainfed Humid ; MRA : Mixed Rainfed Arid ; MIT : Mixed Irrigated Temperate ; MIH : Mixed Irrigated Humid ; MIA : Mixed Irrigated Arid.

Partie II : Etude expérimentale

Chapitre I : Zone d'étude

Chapitre I : Zone d'étude

Les prairies, ces vastes étendues de végétations constituées d'une flore particulièrement diversifiée, sont le résultat d'une interaction complexe entre divers facteurs écologiques tels que le climat, le sol, la topographie et les pratiques de gestion qui leur sont appliquées. Les prairies peuvent être classées en différentes catégories en fonction de leur emplacement géographique, de leur climat et de leur altitude. Réputée préférée les zones humides de la planète, elles en constituent 26% de sa surface émergée et représente la première source de nourriture pour les herbivores au niveau mondial.

Nous avons présenté plus haut, les objectifs de notre travail (cf. introduction). En effet, la région est connue pour son dynamisme agricole en général et en particulier de disposer des espaces de prairie sur son territoire. Au-delà de ce préambule, nous y avons des relations pour nous faciliter l'accès à des parcelles.

I.1 Localisation et caractéristiques climatiques

❖ Localisation

Dellys est une ville côtière sur le littoral Algérien, elle est un chef-lieu de commune situé à 51 km de la ville de Boumerdes, chef-lieu de wilaya, à 105 km à l'est d'Alger et à 40 km au nord de Tizi-Ouzou comme le montre **la figure 4**. Sa superficie est de 12 980 km² à travers laquelle est disséminée une population de 59 418 habitants (DSA, 2015).

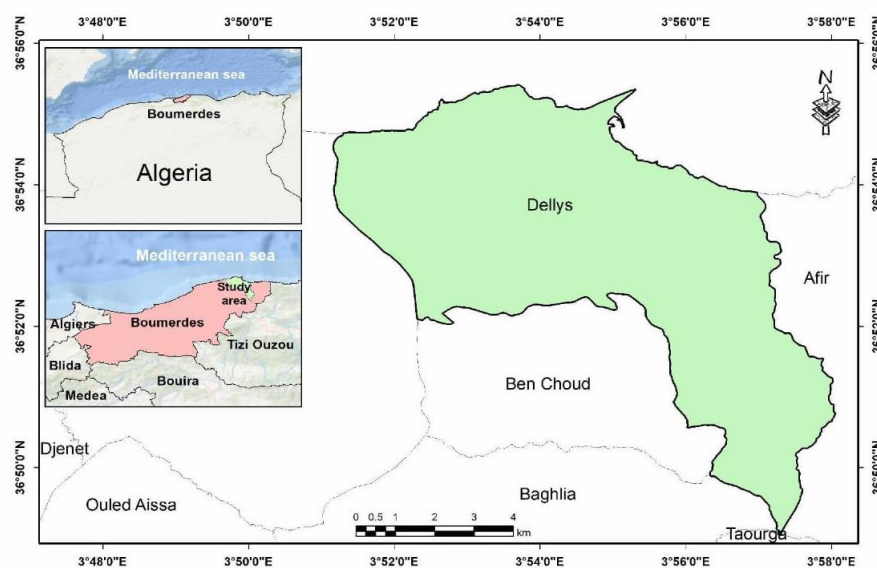


Figure 4. Localisation de la zone d'étude.

❖ Caractéristiques climatiques

Le climat est de type méditerranéen, avec un hiver froid et humide, et un été chaud et sec. Deux paramètres climatiques essentiels sont à considérer : la **pluviométrie** et la **température**.

• Les températures

Les moyennes enregistrées durant les quatre années (trois années d'étude plus une année avant) varient entre 18.3 et 18.8°C. Les températures les plus basses sont enregistrées au mois de février pour l'année 1 et 4 (11.5 et 10.8 °C respectivement). Les mois les plus chaud sont juin-juillet-aout-septembre- quelle que soit l'année, avec des températures allant de 22 à 26 °C. L'ensemble des données apparaissent dans le **tableau 13**.

Quant à l'humidité relative moyenne durant ces mêmes années, elle s'établit à 75, 74, 75 et 76% respectivement de l'année 1 (2018) à l'année 4 (2021).

Tableau 13. Répartition de la température et l'humidité relative sur la région d'étude.

Mois	2018				2019				2020				2021			
	T (°C)			HR%	T (°C)			HR%	T (°C)			HR%	T (°C)			HR%
	MAX	MIN	X		MAX	MIN	X		MAX	MIN	X		MAX	MIN	X	
Janvier	16.90	8.30	12.60	73	18.90	10.80	14.85	74	15.50	7.80	11.65	72	16.80	9.20	13.00	76
Février	15.00	8.50	11.75	72	18.50	10.80	14.65	70	18.20	10.40	14.30	70	10.80	7.50	9.15	79
Mars	18.40	10.10	14.25	71	18.00	9.80	13.90	74	19.60	11.00	15.30	69	14.70	11.60	13.15	64
Avril	20.10	12.50	16.30	76	20.10	12.50	16.30	78	19.80	12.10	15.95	72	16.10	12.70	14.40	77
Mai	23.60	15.10	19.35	74	22.50	14.20	18.35	74	22.50	15.20	18.85	76	17.60	14.20	15.90	83
Juin	25.60	17.90	21.75	76	25.60	17.70	21.65	74	26.50	18.50	22.50	82	21.70	17.30	19.50	78
Juillet	29.50	20.80	25.15	79	27.90	20.00	23.95	78	29.30	20.90	25.10	80	25.70	21.90	23.80	74
Aout	29.60	22.50	25.55	80	27.80	20.30	24.05	77	30.60	22.80	26.70	80	26.00	21.60	23.80	77
Septembre	28.60	20.90	24.75	72	27.50	19.60	23.55	70	27.30	18.80	23.05	76	24.60	21.20	22.90	79
Octobre	25.50	17.70	21.60	72	27.20	18.70	22.95	70	24.40	15.30	19.85	78	30.30	16.90	23.60	75
Novembre	20.90	12.70	16.80	81	22.20	13.60	17.90	66	19.80	11.90	15.85	72	16.70	13.40	15.05	72
Décembre	19.50	10.70	15.10	74	18.50	11.10	14.80	80	15.60	8.80	12.20	78	14.20	10.70	12.45	78

T : température ; MIN : température minimale ; Max : température maximale ; X : température moyenne ; HR% : humidité relative.

- **Pluviométrie**

Concernant la pluviométrie, Dellys a reçu un cumul pluviométrique de 815.1, 755.3 et 901 mm durant les années 1, 2 et 3 respectivement. Ce qui correspond à un balayage de l'étage **humide : (> 800 mm) à semi-aride : 600-400mm en passant par l'étage subhumide (800-600 mm)**. Cependant une grande variabilité d'une saison à une autre et d'une année à une autre est à souligner (**figure 5**) avec une bonne abondance en hiver et en automne et modérée au printemps et en été.

Notons cependant, qu'avec un cumul de plus de 400mm, elles restent suffisantes pour permettre une bonne pousse de la végétation.

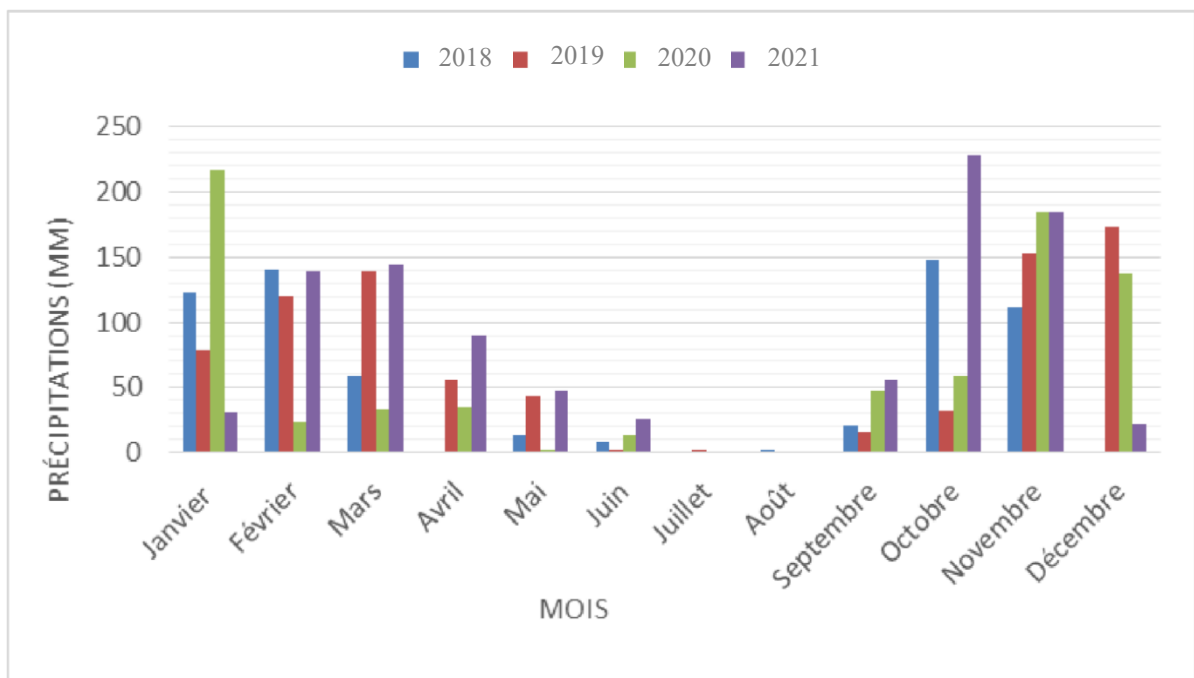


Figure 5. Répartition mensuelle des précipitations totales sur la région de l'année 1 à l'année 4.

- **Diagramme ombrothermique**

Ces deux principaux paramètres considérés, fournissent un diagramme ombrothermique (variation mensuelle des températures et des précipitations) de Bagnouls et Gaussens (1957) sur 18 ans pour la région de Dellys qui détermine la période sèche qui est de 4 mois et quelques jours (**Figure 6**).

Il résulte deux périodes : une période humide de 08 mois qui s'étale du mois d'octobre jusqu'au mois de mai, et une période sèche de 04 mois qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois de septembre.

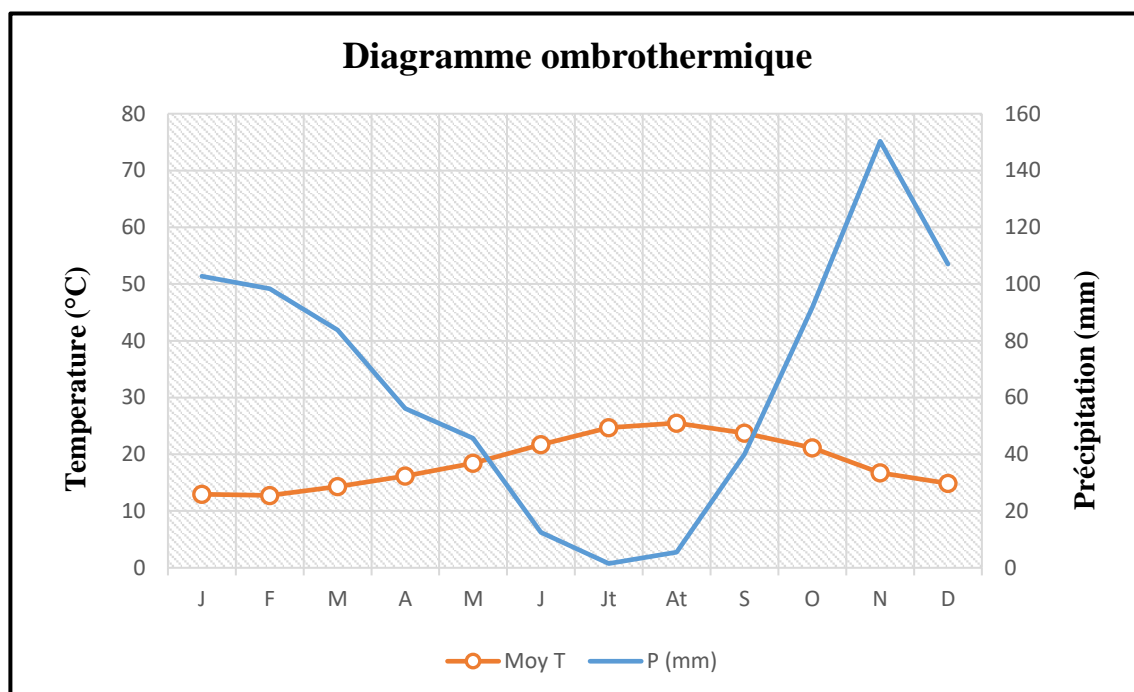


Figure 6. Diagramme ombrothermique de la station de Dellys de 1996 à 2018.

I.2 Répartition et l'utilisation des terres

La répartition des terres de la daïra de Dellys est rapportée par le **tableau 14**. Il apparaît que, la superficie agricole utile : SAU d'une taille de **5247 ha**, représente 54.2% de la superficie agricole totale (SAT), d'une valeur de 9680 ha. Pour chacune des communes Dellys, Afir et Benchoud, elle représente respectivement, 63.6, 42.5 et 61.3% de la **SAT**. Ce rapport considéré comme étant un bon indicateur de l'utilisation des terres à des fins agricole, est élevé, il n'est que de 20% au niveau national comparativement. Quant au nombre d'ha de SAU per capita, autre indicateur utilisé en économie agricole, il est de 0.19 au niveau national (Bessaoud et al. 2019) contre 21ha dans la Daïra de Dellys. Ces chiffres renforcent la validité de notre choix de réaliser le travail expérimental dans cette Daïra, outre les autres raisons citées plus haut.

En nous rapprochant du **tableau 14**, nous pourrions calculer d'autres paramètres validant le dynamisme et la productivité de l'élevage dans la Daïra. Par exemple, le rendement à l'hectare des PP est de 30 Qx/ha contre 20 Qx en moyenne nationale.

Tableau 14. Répartition des terres dans la daïra de Dellys (MADR, 2019).

Commune	Superficies (ha)							
	S.T	S.A.T	S.A.U	SAU exploitée (compagne 2018 et 2019)	Parcours	Forets, bois, Maquis	Alfa	Irriguées (compagne 2018 et 2019)
Dellys	5060	3686	2343	1150	709	374	/	300
Afir	6035	4285	1820	1228	1790	1250	/	70
Benchoud	1890	1709	1084	875	283	-	/	160
Total	12985	9680	5247	3253	2782	1624	/	530

S.T : superficie totale ; SAT : superficie agricole totale ; S.A.U : superficie agricole utile.

La Daira se distingue par des terres de prairies et de fourrages cultivés, mais aussi par une activité agricole générale, très diversifiée : Aviculture (près de 200.000 têtes), cuniculiculture, apiculture, vignoble, arboriculture, maraîchage. En nous intéressant plus particulièrement à l'élevage des herbivores, notamment des ruminants, le contenu des **tableaux 15 et 16** sont en illustration de la diversité végétale et du développement de l'élevage dans la Daïra.

Tableau 15. Répartition des fourrages dans la daïra de Dellys (DSA Boumerdes, 2019).

Communes	Fourrages cultivés								Fourrages naturels	
	En sec		En vert							
			Sorgho		Orge		Trèfle			
	S (ha)	P (Qx)	S (ha)	P (Qx)	S (ha)	P (Qx)	S (ha)	P (Qx)	S (ha)	P (Qx)
Dellys	1083	32280	20	1100	20	5000	10	3500	523	15480
Afir	850	25238	5	100	20	5000	3	1050	250	7237
Benchoud	245	7365	15	1680	20	5000	8	2500	45	1365
Totale	2178	64883	40	2880	60	15000	21	7050	828	24082

S : superficie ; P : production.

Tableau 16. Répartition de l'élevage dans les communes de Dellys (DSA Boumerdes, 2019).

Commune	Cheptel (têtes)										
	Vaches Laitières	Génisses	Taureaux reproducteurs	Totale cheptel bovins	Brebis	Béliers	Total cheptel ovins	Chèvres	Bouc	Total cheptel caprins	Equins
Dellys	1579	204	270	2053	918	133	1051	64	24	121	188
Afir	1763	279	322	2364	940	95	1035	420	150	700	188
Benchoud	893	134	115	1142	572	57	629	0	0	0	0
Totale	4235	617	707	5559	2430	285	2715	484	174	821	376

En conclusion à ce chapitre, et si nous devons être amenées à définir la Daïra de Dellys, nous dirions : que c'est une grande exploitation de polyculture (maraîchage, arboriculture ...) et d'élevage. Ce qui renforce le bien fondé de notre choix d'y installer les travaux de notre thèse.

Chapitre II :

Démarche et mise en

œuvre

expérimentale

Chapitre II. Démarche et mise en œuvre expérimentale

Dans ce chapitre, après avoir présenté les parcelles expérimentales, leur sol sera concerné par une analyse physico-chimique. Puis, nous indiquerons les périodes et les méthodes de prélèvement des échantillons du couvert végétal des deux parcelles pendant deux années consécutives puis nous étudions : (i) De leurs caractéristiques botaniques : identification des espèces, composition floristique, fréquence et abondance des espèces identifiées. (ii) De leurs caractéristiques agronomiques : productivité en matière sèche et en matières azotées. (iii) De leurs caractéristiques chimiques et nutritionnelles (Chapitre III). Et enfin, les foins récoltés sur la parcelle Thouabet durant 3 années successives, feront l'objet de mesures de leur digestibilité *in vivo* pour évaluer leur capacité alimentaire à couvrir les besoins d'entretien d'ovins adultes (Chapitre VI).

Les résultats le nécessitant, feront l'objet d'analyses statistiques descriptives (moyenne, écart type) et d'analyse de la variance (Anova) suivi d'un test de Student pour les plus importants. Ces calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel Excel et logiciel S-PLUS version 4.5 (1998) et pour l'analyse de GLM à l'aide du logiciel SAS (2017).

II.1 Matériel et méthodes

II.1.1 Présentation des parcelles expérimentales

Nous avons choisi deux parcelles de surfaces en herbe (Thouabet et Brarat) situées dans deux localités différentes de la commune de Delys. Pour savoir si elles répondent aux conditions qu'une aire d'herbage doit remplir pour être authentifiée en tant que « Prairie » nous les avons soumises aux items donnés par Dixon et al. (2014).

La définition est la suivante : (1) La prairie est une formation non humide, (2) la végétation vasculaire doit représenter au moins 10% de la couverture végétale, (3) les Graminées ont au moins 25% de couverture (mais si la couverture est inférieure à 25%, les Graminées dépassent celle des autres herbacées et arbustes), (4) les herbes à feuilles larges (forbes) peuvent avoir des niveaux variables de couverture et de dominance, (5) les arbustes ont une couverture de canopée inférieure à 25%, (6) et les arbres : dans les zones tempérées, ont généralement une couverture de canopée inférieure à 10%, sont de hauteur inférieure à 5 m et sont monostratifiés, ou dans les régions tropicales, ont généralement

une couverture de canopée inférieure à 40%, sont de hauteur inférieure à 8 m et sont monostratifiés.

De cette analyse, il résulte que nos deux parcelles, répondent bien au qualitatif de « Prairie » selon Dixon et al. (2014).

Nos deux parcelles occupent une surface de 0.65 ha et 0.52 ha pour les parcelles Thouabet et Brarat respectivement. La distance entre les deux parcelles est d'environ 20 km par route et 5 km en ligne droite (comme illustrée par la **figure 7**).

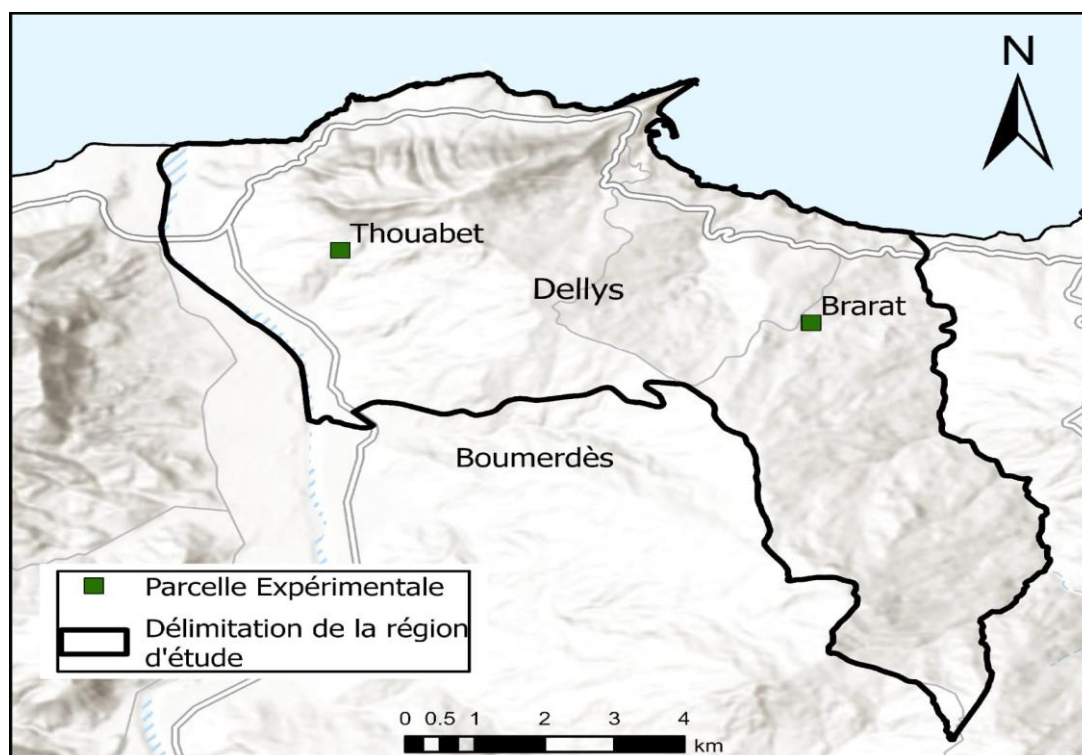


Figure 7. Situation des zones de prélèvement.

II.1.2 Périodes et méthodes de prélèvement des échantillons

Nous rappelons que nos deux parcelles (Thouabet et Brarat) sont situées dans deux contrées différentes mais sur le territoire d'une même commune : Dellys.

❖ Prélèvement des échantillons végétaux

Le travail est réalisé sur deux saisons (hiver et printemps) durant l'année 2018 et les années suivantes (2019 et 2020). En hiver (début du mois de février), et au printemps (début du mois de mai). Le stade de développement des différentes plantes lors de l'échantillonnage de l'hiver et du printemps est indiqué dans le **tableau 17**.

Tableau 17 . Stade de développement des espèces prélevées.

Type d'échantillon	Prélèvement d'hiver	Prélèvement de printemps
Légumineuses	Végétatif	Floraison
Graminées	Tallage	Epiaison
Autres	Végétatif	Floraison

La méthode de prélèvement que nous avons utilisée est celle dite simplifiée de Theau et al. (2010). Cette méthode est basée sur deux autres : celle des poignées (Vries et Boer, 1959) se caractérisant par une pression d'échantillonnage élevée : 25 poignées ou plus le long d'un transect. La deuxième, méthode Botanal (Tohill et al. 1992), utilise plutôt des cadres de 0.25 m² et nécessitant une pression d'échantillonnage plus faible (12 à 15 cadres).

Nous avons réalisé 7 observations (soit 7 fois le jeté du cadre) pour la parcelle 1 (Thouabet) et 5 observations (soit 5 fois le jeté du cadre) pour la parcelle 2 (Braret). Les cadres utilisés ont une surface de 0.25m² (Vries et Boer, 1959) soit : 50 cm de côté, le long d'un transect parcourant en zig-zag la parcelle (Figure 8). Les figures 8 et 9 représentent la délimite des surfaces des deux parcelles.

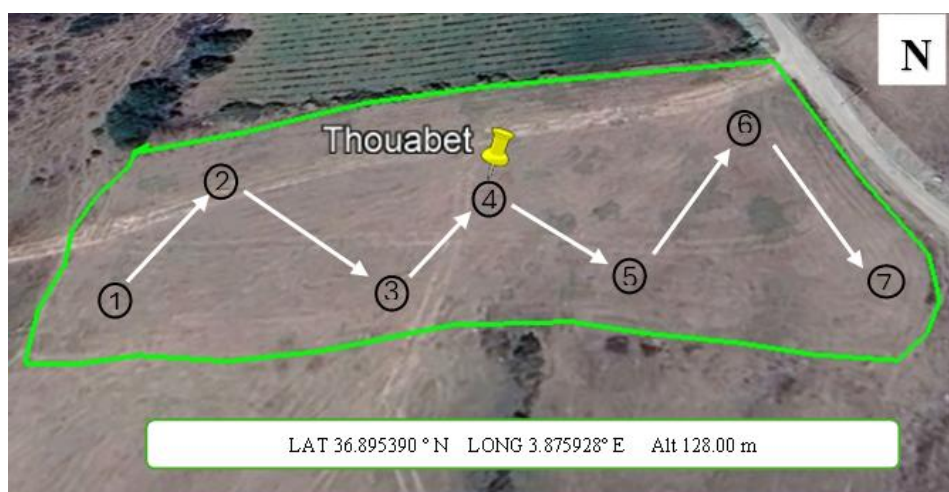


Figure 8. Délimitation de surface de la parcelle Thouabet.

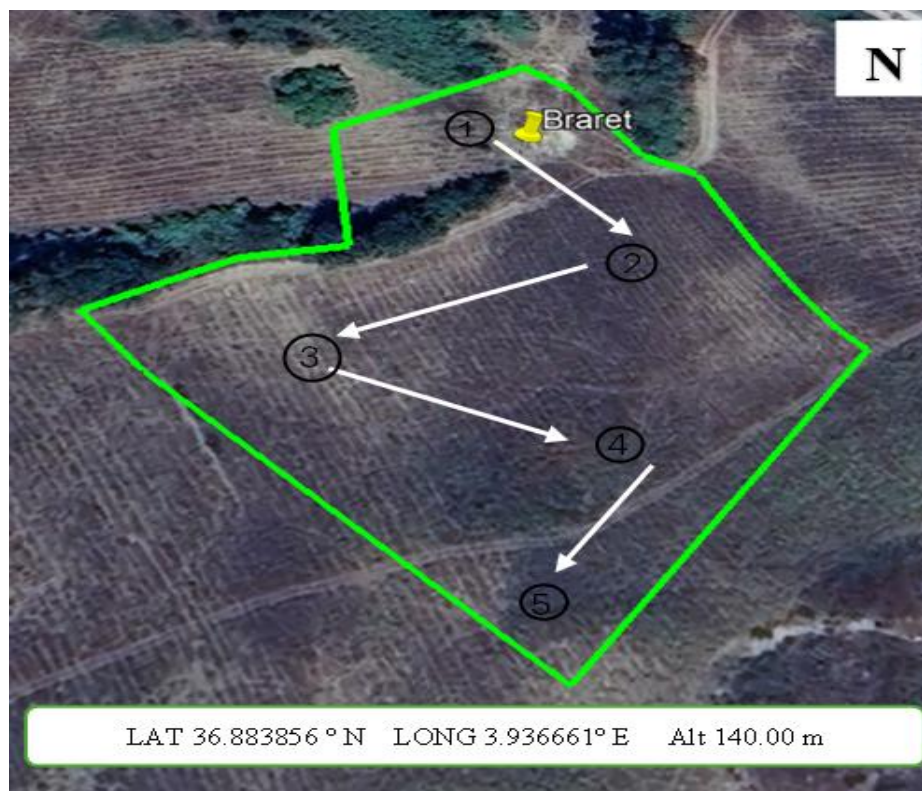


Figure 9. Délimitation de surface de la parcelle Braret.

❖ **Echantillonnages de terre pour évaluer la qualité du sol**

Les échantillons ont été prélevés au différent niveau dans les parcelles, le plus proche possible des prélèvements des échantillons pour l'analyse de la qualité. Les horizons étudiés sont un horizon superficiel (de 0 à 10 cm de profondeur) et un horizon plus profond (de 10 à 30 cm). L'analyse du sol des parcelles, concerne la granulométrie, le pH et le dosage chimique sont effectuées par le laboratoire du **BNEDER (Bureau National d'études pour le Développement Rural)**.

❖ **Utilisation des échantillons prélevés**

La préparation des échantillons prélevés :7 pour l'hiver et 7 pour le printemps pour la parcelle 1 et 5 pour l'hiver et 5 pour le printemps pour la parcelle 2. Notons que la hauteur de coupe est de 5 cm du sol. Se fait selon les étapes suivantes représentées par la **Figure 10**.

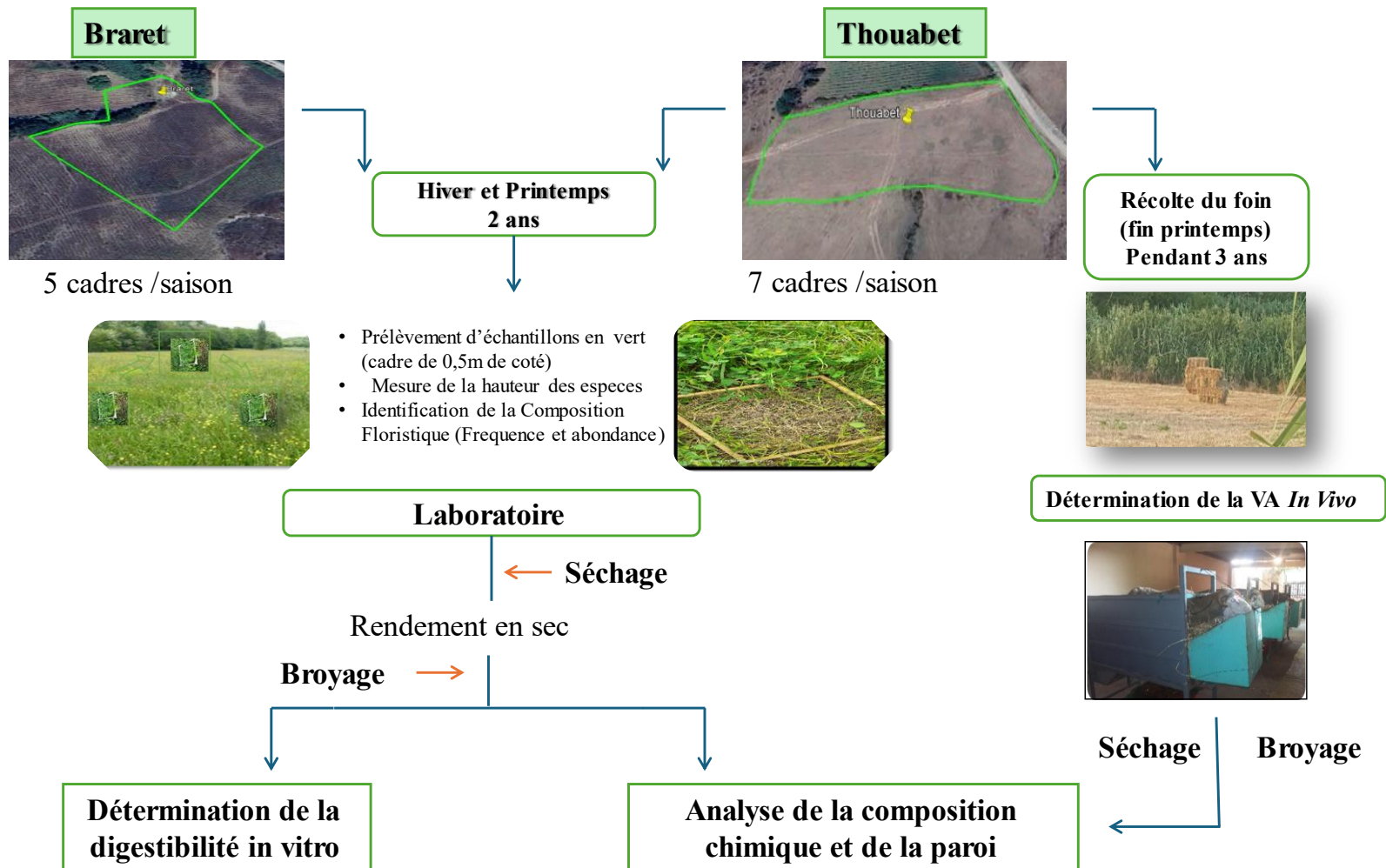


Figure 10. Protocole suivi l'utilisation des échantillons prélevés.

II.2 Résultats et discussion

II.2.1 Caractérisation physico-chimique du sol de Thouabet et de Braret

Les deux pendants ou pairs de cette caractérisation sont : l'analyse physique ayant trait à la granulométrie et celle chimique, dosant les composants du même sol.

❖ Parcelle de Thouabet

Les résultats sont affichés dans le **tableau 18**.

Tableau 18. Analyse physico chimique du sol de la parcelle Thouabet.

Horizon		H1	Signification
Granulométrie (en%)	A	38.8	Argile
	LF	24.7	Limon fin
	LG	16.7	Limon grossier
	SF	9.4	Sable fin
	SG	10.4	Sable grossier
CaCO ₃ Total (en%)		12.38	Carbonate de calcium : (calcaire)
CaCO ₃ Actif (en%)		4.71	Carbonate de calcium
CEC (en méq/100g)		18.48	Capacité d'échange cationique
pH (au 1/5)		8.35	Potentiel hydrogène
C.Emmhos/cm (1/5)		0.03	Conductivité électrique
P ₂ O ₅ ppm		57.25	Phosphore (Pentoxyde de phosphore)
C%		0.36	Carbone
MO%		0.62	Matière Organique
Na ⁺ (en méq/100g)		0.55	Sodium
K ⁺ (en méq/100g)		1.31	Potassium
Ca ⁺⁺ (en méq/100g)		9.28	Calcium
Mg ⁺⁺ (en méq/100g)		7.78	Magnésium
Cu ⁺⁺ (en méq/100g)		0.001	Cuivre
Fe ⁺⁺ (en méq/100g)		0.003	Fer
Mn ⁺⁺ (en méq/100g)		0.002	Manganèse
Zn ⁺⁺ (en méq/100g)		0	Zinc

Il en résulte que, le sol a une texture limono argileuse, ce qui indique qu'il est compact et peu aéré, mais retient l'eau ; qu'il est froid en hiver et s'échauffe lentement. Nous insisterons plus particulièrement sur le taux de MO et sur le pH du sol.

Par ailleurs, la **figure 11** montre que, l'horizon de surface s'apparente à la classe texturale limoneux- argileux fins (LAF).

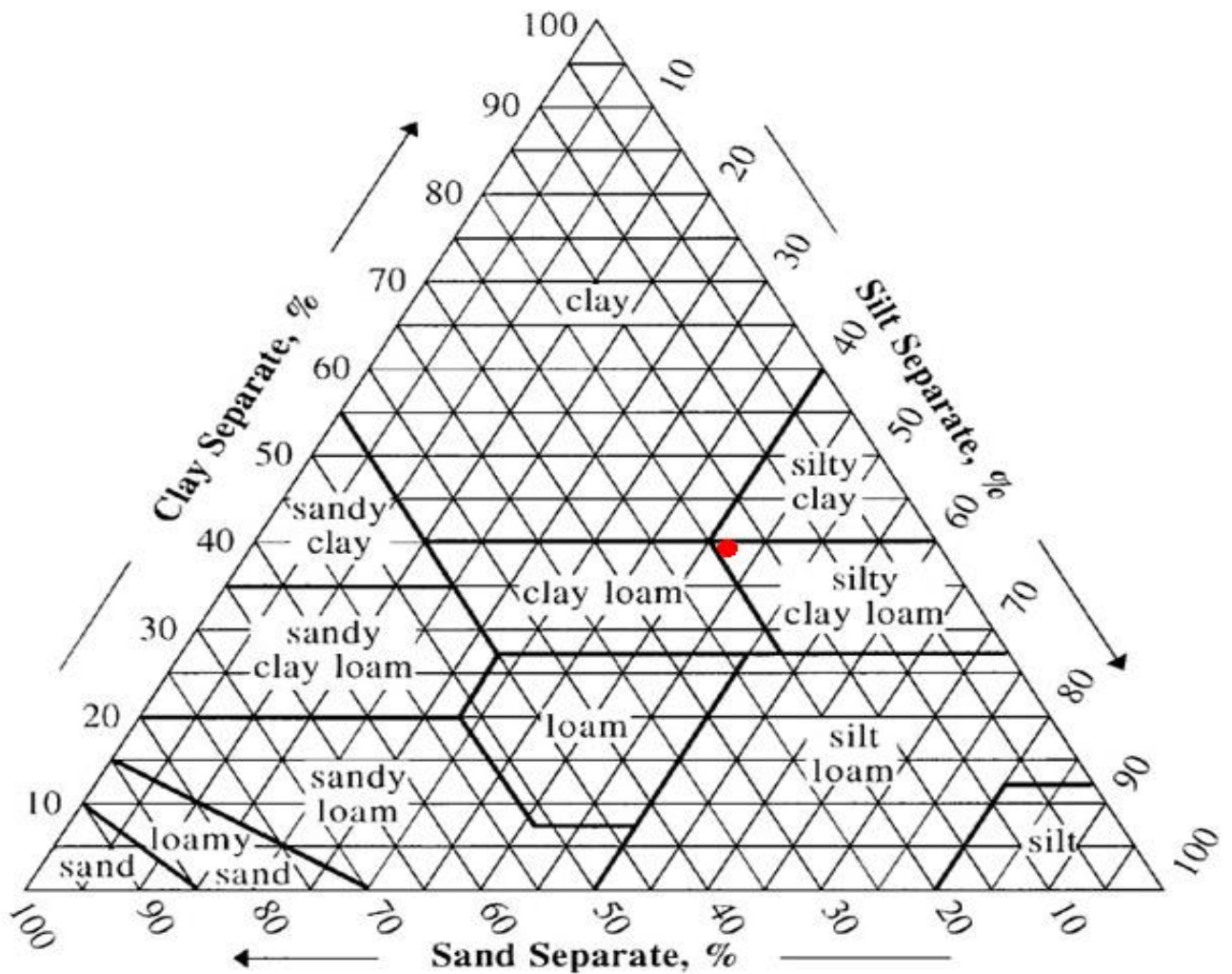


Figure 11. Représentation de la granulométrie sur le triangle textural de l'USDA (1954).

Sur la base des normes du mémento de l'agronome (CIRAD, 2009), les caractéristiques du sol de la parcelle Thouabet sont les suivantes :

Le sol est faiblement calcaire : le taux de calcaire actif est inférieur à 8% donc pas d'effet de blocage sur les autres éléments minéraux. Avec un pH de l'ordre de 8.35 il est moyennement alcalin.

Quant à la matière organique (MO) dans le sol, son taux est faible, elle est de 0.62%. Cette teneur rapportée aux taux de calcaire et d'argile montre que le niveau de la MO est très faible.

L'analyse de la capacité d'échange cationique (C.E.C) montre qu'elle est moyenne, elle est de l'ordre de 18.48 meq/100g. Le complexe adsorbant est saturé le long du profil par les ions Ca^{2+} . De même, la teneur en phosphore assimilable dans l'horizon de surface est élevée : de l'ordre de 24.96 ppm.

❖ Parcelle de Braret

Les résultats de l'analyse physico-chimique sont présentés dans le **tableau 19**. Concernant les normes d'interprétation, il ressort que le sol de la parcelle Braret (**tableau 19**) : présente les caractéristiques suivantes :

Sur le plan physique : La texture est limono argileuse, ce qui indique que le sol est compact, un peu stable, retient l'eau, froid en hiver, s'échauffe lentement, peu aéré difficile à travailler.

Une valeur de pH qui indique que le sol est moyennement alcalin (8.42). Le pH du sol influe sur la solubilité des nutriments et sur l'activité des organismes qui sont responsables de la transformation de la matière organique et de la fixation de l'azote. Selon Fabre et Kockmann (2006), un pH compris entre 6 et 7 donne les prairies les plus productives.

Une teneur en calcaire total actif indiquant que le sol est non calcaire. Le calcaire a un effet sur plusieurs propriétés de sol et intervient dans la nutrition de la plante, mais lorsqu'il se présente d'une façon très abondante il devient nocif. La valeur de CE indique qu'il s'agit d'un sol non salé.

Sur le plan chimique comme pour Thouabet, le sol de Braret à un taux de MO faible (0.76%) une teneur en phosphore assimilable très faible.

La MO, joue un rôle important dans le fonctionnement de l'écosystème du sol (Laboubée, 2007) : rétention d'eau, réservoir d'éléments nutritifs, capacité d'échange (meilleure que celle de l'argile) ; par sa couleur sombre, elle favorise le réchauffement du

sol, son aération et sa structure ; de même, les microorganismes essentiels à la qualité du sol se développent à son dépend

Tableau 19. Analyse physico chimique du sol de la parcelle Braret.

Horizon		H1	Signification
Granulométrie (en%)	A	Argile	41.6
	LF	Limon fin	21.4
	LG	Limon grossier	16
	SF	Sable fin	7.8
	SG	Sable grossier	7.2
CaCO₃ Total (en%)		7.88	Carbonate de calcium : (calcaire)
CaCO₃ Actif (en%)		1.43	Carbonate de calcium
CEC (en méq/100g)		19.93	Capacité d'échange cationique
pH (au 1/5)		8.42	Acidité
C.Emmhos/cm (1/5)		0.11	Conductivité électrique
P₂O₅ ppm		38.93	Phosphore (Pentoxyde de phosphore)
C%		0.44	Carbone
MO%		0.76	Matière Organique
Na⁺(en méq/100g)		0.63	Sodium
K⁺(en méq/100g)		1.26	Potassium
Ca⁺⁺(en méq/100g)		10.16	Calcium
Mg⁺⁺(en méq/100g)		7.02	Magnésium
Cu⁺⁺(en méq/100g)		0.0016	Cuivre
Fe⁺⁺(en méq/100g)		0.0039	Fer
Mn⁺⁺(en méq/100g)		0.0056	Manganèse
Zn⁺⁺(en méq/100g)		0	Zinc

La teneur du sol en MO est très variable : comprise entre 1 et 10% du poids sec du sol (Laboubée, 2007). Chouinard et Drummondville (2000) donnent l'échelle suivante d'appréciation de la teneur en MO des sols cultivés. Moins de 2% sol pauvre, 2 à 5% teneur moyenne et + de 5%, sol riche.

Nous n'avons pas trouvé dans la littérature, des teneurs de référence en MO pour les PP, néanmoins, avec seulement 0.62% (consécutivement à un taux de carbone presque négligeable : 0.36%), celle de notre parcelle nous paraît très faible et par conséquent insuffisante, pour assurer les fonctions importantes qui lui sont dévolues dans la fertilité du sol.

Quant au pH, il conditionne en très grande partie la vie du sol, donc sa qualité. En agronomie, les spécialistes, pour apprécier la qualité physico-chimique d'un sol, se basent sur des échelles de pH ainsi établies : acide $5 < \text{pH} < 6$, légèrement acide $6 < \text{pH} < 6.6$, neutre $6.6 < \text{pH} < 7.4$, légèrement alcalin $7.4 < \text{pH} < 7.8$, Alcalin $\text{pH} > 7.8$ (Luxen et al. 2016). Il en résulte qu'ils considèrent que la fertilité du sol n'est pas impactée, lorsque le pH se situe dans une plage comprise entre 6.5 (légèrement acide) à 7.5 (légèrement alcalin). Dans cette zone, la croissance des Rhizobias nodulants, des racines des Légumineuses est optimale (Rodrigues et al. 2006, Cheriet, 2016). De même, la plupart des éléments nutritifs sont absorbés de façon optimale par les plantes et compatible aussi avec la croissance de leurs racines (Lochon, 2018). Ces dernières étant souvent en interactions avec l'activité de la microflore : notamment, les Fabacées dont les PP sont très fréquemment porteuses. De même, au voisinage de la neutralité (pH de 7), la conversion microbienne de l'ammoniac en nitrate est plus rapide tout comme, l'assimilabilité des éléments principaux comme l'azote, le phosphore, le potassium, le soufre et le magnésium (Maciejewski et Osson, 2015). En plus, un pH neutre favorise la dégradation des produits phytosanitaires.

En conclusion, après avoir confronté, les résultats de la caractérisation physique et chimique des sols respectifs des deux parcelles expérimentales, il ressort que :

Le pH des deux parcelles, en s'installant au-dessus de 8, est carrément alcalin. Ce niveau est susceptible d'impacter négativement la nutrition des plantes de la parcelle, ceci d'autant plus que le CEC à plus de 18 est considéré comme trop élevé pour des échanges satisfaisants.

En y ajoutant, sa très faible teneur en MO, et en phosphore assimilable (le phosphore se complexant avec le calcaire du sol en pH alcalin), le statut des terres de nos deux parcelles nous semble raisonnablement être celui d'un sol à faible fertilité.

II.2.2 Caractéristiques botaniques

❖ Composition floristique

Les prairies permanentes, véritables joyaux naturels, sont des écosystèmes riches et diversifiés, où la composition floristique joue un rôle essentiel.

La composition floristique (CF) est définie comme l'ensemble de toutes les espèces végétales rencontrées dans la zone d'étude sans rendre compte ni de leur abondance ni du niveau de leur participation respective à la structure de végétation (Scoupe, 2011). Gamoun et al. (2011) parlent tout simplement de richesse floristique quantitative pour désigner la CF.

La composition floristique d'une prairie permanente est le résultat d'un processus dynamique de succession écologique, influencé par des facteurs naturels et anthropiques. Les espèces végétales qui prospèrent dans ces prairies sont souvent bien adaptées aux conditions locales, démontrant une diversité morphologique et physiologique remarquable. L'étude de cette composition floristique revêt une importance particulière dans la compréhension des écosystèmes prairiaux, offrant des informations précieuses sur la santé de l'environnement et sur les éventuels changements environnementaux.

Nous adoptons une approche principalement agronomique, axée sur la qualité, mettant en évidence les espèces dominantes qui contribuent à l'abondance des formes de vie et évaluant leur impact sur la couverture végétale. Ainsi, nous utilisons taux d'abondance, fréquence et taux de fréquence des espèces sur les parcelles selon les formules :

$$\text{Taux d'abondance (B\%)} = \frac{\text{Somme des notes pour l'ensemble des cadres}}{(6 * n)}$$

– **n** : le nombre de cadres.

$$\text{Fréquence (F)} = \frac{\text{nombre de fois}}{\text{nombre de cadres}}$$

$$\text{Taux de fréquence (F\%)} = \frac{F}{\text{nombre de cadres}}$$

Notre étude a inventorié 19 espèces, réparties en 10 familles végétales pour les deux parcelles d'où 14 espèces identifier pour la parcelle Thouabet et 11 espèces pour celle de Braret (**Tableau 20**). Sur ces 19 espèces, 14 espèces (regroupant 6 familles de plantes) étaient suffisamment abondantes pour être notées et retenues. L'objectif de l'étude étant de travailler sur les espèces dominantes de la parcelle. Les autres ont bien été signalées et identifiées (signe -) mais n'ont pas été retenues car en trop faible abondance (voir détails dans **tableau 21 et 22**).

Tableau 20. Composition floristique, proportions relatives des espèces identifiées sur les parcelles et leurs types végétatifs.

Espèces Identifiées	Familles	Type Végétatif	Année	
			Parcelle THOUAET	Parcelle BRARET
<i>Avena sterilis</i>	<i>Poaceae</i>	Annuelle	1 ; 2	1 ; 2
<i>Phalaris truncata</i>	<i>Poaceae</i>	Vivace	1 ; 2	1 ; 2
<i>Melilotus indicus</i>	<i>Fabaceae</i>	Annuelle	1 ; 2	1 ; 2
<i>Hedysarum flexuosum</i>	<i>Fabaceae</i>	Vivace	1 ; 2	1 ; 2
<i>Galactites tomentosus</i>	<i>Astéraceae</i>	Annuelle	1	1 ; 2
<i>Daucus carota</i>	<i>Apiaceae</i>	Annuelle	-	2
<i>Hirschfeldia incana</i>	<i>Brassicaceae</i>	Vivace	1	-
<i>Scolymus</i>	<i>Asteraceae</i>	Vivace	1	-
<i>Borago officinalis</i>	<i>Boraginacea</i>	Annuelle	2	-
<i>Fumaria capreolata</i>	<i>Papaveraceae</i>	Annuelle	2	-
<i>Sinapis arvensis</i>	<i>brassicaceae</i>	Annuelle	2	-
<i>Hyoseris radiata</i>	<i>Asteraceae</i>	Vivace	2	-
<i>Coleostephus myconis</i>	<i>Astéraceae</i>	Annuelle	2	-
<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Convolvulaceae</i>	Annuelle	1	2
<i>Convolvulus althaeoides</i>	<i>Convolvulaceae</i>	Vivace	2	-
<i>Picris comosa</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	-	1
<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	-	1 ; 2
<i>Medicago intertexta</i>	<i>Fabaceae</i>	Vivace	-	1 ; 2
<i>Oxalis pes-caprae</i>	<i>Oxalidaceae</i>	Vivace	-	1

De ces 19 espèces identifiées, 6 (43%) sont vivaces, 8 (57%) sont annuelles pour la parcelle Thouabet et 4 (36%) sont vivaces, 7 (64%) sont annuelles pour la parcelle Braret (**Tableau 20**). Les espèces dominantes forment ce qu'on appelle couramment le « fond prairial », elles représentent une part importante de la biomasse récoltable d'une prairie (Hubert et Pierre, 2009).

Nous avons remarqué qu'entre les deux parcelles il y avait 4 espèces parmi les espèces dominante apparaitre les même pendant les deux ans d'étude : *Avena sterilis*, *Phalaris truncata*, *Melilotus indica*, *Hedysarum flexuosum*.

Il est difficile d'apporter par comparaison avec d'autres travaux algériens, une appréciation sur la richesse spécifique de la végétation sur la parcelle. Yahiaoui (2011) avait récolté : 12 espèces sur jachère, 9 sur chaumes, 18 sur la steppe, mais l'étendue de l'aire de récolte n'avait pas été précisée : le caractère recherché de l'espèce récoltée étant sa palatabilité. Néanmoins, 4 de nos espèces identifiées sur la parcelle Thouabet : *Avena sterilis* ; *Melilotus indica* ; *Sinapis arvensis* et *Medicago sp*, ont été retrouvées sur jachère dans la région de Tiaret, de même, 7 espèces partagées : *Avena sterilis*, *Calendula arvensis*, *Convolvulus althaeoides*, *Galactites tomentosus*, *Centaurea pullata* et *Daucus carota* ont été identifiées par Salhi (2013) sur prairies, dans la région de Chlef. Cependant, aucune de nos espèces identifiées sur les deux parcelles ne l'ont été sur chaumes et sur la steppe par Yahiaoui (2011). Mebirouk-Boudechiche et al. (2010) dans les plaines de la wilaya d'El Tarf (au Nord-est de l'Algérie) rapportent une richesse spécifique de 24 espèces au printemps mais, sur une superficie de 7 ha. Nous partageons avec ces auteurs, 6 espèces *Borago officinalis*, *Calendula arvensis*, *Galactites tomentosus*, *Hedysarum flexuosum*, *Medicago sp* et *Daucus carotta*. Cette dernière espèce nous semble assez nomade et ubiquiste, puisque Gamoun et al. (2011) signalent sa présence en Tunisie sur des zones arides d'isohyète 100 à 300 ml. Alors que, Mebirouk-Boudechiche et al. (2010) l'ont également identifiée en zone humide et subhumide (800-1200 ml) dans les plaines de la wilaya d'El Tarf et à Chlef sur friches, jachère, chaumes et prairies en zone semi-aride par Salhi (2013).

A l'échelle internationale, une étude récemment publiée par Dal Prà et al. (2023) sur une prairie permanente pendant deux ans en Italie (Val d'Enza, Italie du Nord), donnent une composition botanique des prairies permanentes suivante : en 2017, 47.8% de Poacées, principalement du ray-grass d'Italie (*Lolium multiflorum*), du pâturin rugueux

(*Poa sylvicola*) et de la sétaire (*Alopecurus utriculatus*), 10.1% de Fabacées, principalement du trèfle blanc (*Trifolium repens*), et 42.1% d'autres familles botaniques, principalement le pissenlit commun (*Taraxacum officinal*).

En revanche, en 2018, la composition était de 50.1% de Poacées, principalement du ray-grass d'Italie (*Lolium multiflorum*), du pâturin rugueux (*Poa trivialis* subsp *sylvicola*) et de la sétaire des prés (*Alopecurus pratensis*), 10.3% de Fabacées, principalement du trèfle rouge (*Trifolium pratense*), 39.6% d'autres espèces principalement *Ranunculus sp.* et le pissenlit commun.

❖ Fréquence et abondance des espèces

Comme on pouvait s'y attendre, il y a des différences de fréquence des espèces sur la parcelle selon l'année de prélèvement des échantillons, la saison et la parcelle. Néanmoins, celles dont la fréquence était la plus élevée sur les deux parcelles et pour les deux saisons, ont conservé leur place de leaders les deux années suivantes (**Tableau 21 et 22**). C'est le cas de la Poaceae *Avena sterilis* et des Fabaceae *Melilotus indica* et *Hedysarum flexuosum* cependant avec des fréquences variables.

La concurrence des *Poaceae* et des *Fabaceae* est coutumière de la plupart des prairies du monde. Néanmoins, leur contribution respective à la densité d'une prairie, peut être très variable, nos résultats le montrent très bien. Sur les deux parcelles pendant les deux années d'études, ces deux familles de plantes ont représentée entre 60 et 93% de la couverture végétale de la parcelle. Cependant, leur contribution respective interannuelle a fortement varié. Ainsi, pour la parcelle Thouabet, les Légumineuses constituant 40% en hiver pendant deux ans contre 54% et 40% respectivement en année 1 et année 2 des Graminées. Alors qu'au printemps les Graminées dominant avec 55% pour la 2ieme année. Pour la parcelle Braret, les Légumineuses dominant en hiver et au printemps pendant deux années.

Tableau 21. Fréquences et abondances des espèces dominantes de la parcelle Thouabet en hiver et en printemps durant les deux années.

Année	Genre	L'espèce dominante	Hiver				Printemps			
			Fréquence	Taux de fréquence (%)	Abondance total (%)	Abondance de chaque forme de vie (%)	Fréquence	Taux de fréquence (%)	Abondance total (%)	Abondance de chaque forme de vie (%)
1	Graminées	<i>Avena sterilis</i>	7	100	50	54.70	7	100	26.19	33.12
		<i>Phalaris truncata</i>	1	14.28	4.76		2	28.57	4.76	
	Légumineuses	<i>Melilotus indica</i>	6	85.71	26.19	40.47	6	85.71	26.19	53.33
		<i>Hedysarum flexuosum</i>	3	42.85	14.28		5	71.42	28.57	
	Autres	<i>Galactites tomentosus</i>	2	28.85	4.76	4.76	3	42.85	7.14	13.33
		<i>Daucus carota</i>	-	-	-		1	14.28	2.38	
2	Graminées	<i>Avena sterilis</i>	7	100	33.33	40.47	7	100	45.23	54.75
		<i>Phalaris truncata</i>	3	42.85	7.14		2	28.57	9.52	
	Légumineuses	<i>Melilotus indica</i>	6	85.71	30.95	40.47	6	85.71	26.19	38.09
		<i>Hedysarum flexuosum</i>	3	42.85	9.52		2	28.57	11.9	
	Autre Dicotylées	<i>Fumeterre</i>	1	14.28	2.38	19.04	-	-	-	7.14
		<i>Galactites tomentosus</i>	3	42.85	7.14		-	-	-	
		<i>Sinapis</i>	1	14.28	2.38		-	-	-	
		<i>Oxalis</i>	2	28.57	4.76		-	-	-	
		<i>Hyoseris radiata</i>	1	14.28	2.38		-	-	-	
		<i>Chrysantemum sp</i>	-	-	-		1	14.28	4.76	
<i>Convolvulus bicolor</i>	-	-	-	1	14.28	2.38				

Tableau 22. Fréquences et abondances des espèces dominantes de la parcelle Braret en hiver et en printemps durant les deux années.

Année	Genre	L'espèce dominante	Hiver				Printemps			
			Fréquence	Taux de fréquence (%)	Abondance total (%)	Abondance de chaque forme de vie (%)	Fréquence	Taux de fréquence (%)	Abondance total (%)	Abondance de chaque forme de vie (%)
1	Graminées	<i>Avena sterilis</i>	3	60	10	13.33	3	50	13.13	33.12
		<i>Phalaris truncata</i>	1	20	3.33		3	50	13.33	
		<i>Lolium multiflorum</i>	-	-	-		3	50	6.66	
	Légumineuses	<i>Melilotus indica</i>	5	100	33.33	59.99	6	100	30	53.33
		<i>Hedysarum flexuosum</i>	3	60	16.66		4	66.66	20	
		<i>Medicago intertexta</i>	3	60	10		1	16.66	3.33	
	Autres	<i>Picris sp</i>	-	-	-	26.66	3	50	10	13.33
		<i>Galactites tomentosus</i>	-	-	-		1	16.66	3.33	
		<i>Oxalis</i>	5	100	8		-	-	-	
2	Graminées	<i>Avena sterilis</i>	5	100	22.66	33.30	3	60	10	30.00
		<i>Phalaris truncata</i>	1	20	6.66		2	40	6.66	
		<i>Lolium multiflorum</i>	-	-	-		4	80	13.33	
	Légumineuses	<i>Melilotus indica</i>	5	100	63.33	66.60	5	100	43.33	66.60
		<i>Hedysarum flexuosum</i>	-	-	-		4	80	13.33	
		<i>Medicago intertexta</i>	-	-	-		3	60	10	
	Autres	<i>Convolvulus bicolor</i>	-	-	-	0.00	1	20	3.33	3.33
		<i>Galactites tomentosus</i>	-	-	-		-	-	-	
		<i>Carotte sauvage</i>	-	-	-		-	-	-	

La participation des *Convolvulaceae* et des *Asteraceae* a fait baisser notablement les « résidus ». Cette dernière famille de plantes est très répandue en Algérie. Elle constitue dans certains travaux comme ceux de Mebirouk-Boudechiche et al. (2010) dans la région d'El Tarf, Salhi et al. (2019) dans celle de Chlef, la première famille avec des abondances élevées, loin devant les *Fabaceae* et les *Poaceae*.

Les saisons jouent un rôle important sur la sélectivité des formes de vie dans les PP. Ainsi, Mebirouk-Boudechiche et al. (2010) ont observé dans les plaines de la wilaya d'El Tarf (au Nord-est de l'Algérie), pour les *Fabaceae*, des taux d'abondance nettement plus faible : 12.5, 34.4 et 22.0%, respectivement en automne, en hiver et au printemps. Ceux des *Poaceae* négligeables en hiver (0.1%), passent à 8.0% en automne et à 26.0% au printemps. Les *Asteraceae* sont dominantes tout au long de ces trois saisons respectivement à hauteur de 85, 32 et 49%. Le rééquilibrage effectué au printemps, a permis aux *Fabaceae* et aux *Poaceae* de représenter, la moitié de l'abondance végétale (48%), l'autre moitié étant occupée par les seules *Asteraceae*. Ce résultat n'est pas étonnant, sur les 4120 espèces végétales que compte le pays, les Astéracées avec 648 espèces sont les plus représentées suivies des *Fabaceae* et des *Poaceae* respectivement 453 et 368 espèces (Dobignard et Châtelain, 2010-2013)

La composition équilibrée d'une prairie, selon Baumont et al. (2012) et Crémer (2014), serait optimale avec 70% de Graminées dont 50% de bonnes Graminées (fétuque, dactyles ray gras) et 15% de Légumineuses. Sur cette base, notre parcelle serait trop dotée en Légumineuse. La pluviométrie et le type de sol, ont une influence directe sur les potentialités agronomiques des prairies et la qualité de l'herbe. Ainsi, celles riches en Graminées ont des teneurs en minéraux moins élevés que celles riches en Légumineuses et en plantes divers, il en est de même pour l'azote. Il ressort que les taux de fréquences et d'abondance des espèces dominantes de la parcelle, durant la saison hiver des deux années sont aussi influencés par l'année de récolte et donc fonction des facteurs climatiques.

II.2.3 Caractéristiques agronomiques

❖ Rendement en biomasse de la parcelle Thouabet

En hiver, le rendement en matière fraîche (**RMF**) et sèche (**RMS**) de chaque prélèvement de la parcelle Thouabet des deux années d'étude est regroupé dans le **tableau 23**. Ce dernier permettra de connaître l'effet des conditions météorologiques (température extérieure, humidité relative et vitesse de l'air, pluie...) sur la production de la parcelle durant les deux ans.

Il ressort que les taux de fréquences et d'abondance des espèces dominantes de la parcelle, durant la saison hiver des deux années sont aussi influencés par l'année de récolte et donc fonction des facteurs climatiques. Ainsi la moyenne de rendements frais et sec obtenue par la parcelle Thouabet s'élève à 473 et 77 Qx/ha et de 162.46 et 11.44 Qx/ha respectivement en hiver de la première et de la deuxième année d'étude. La moyenne en MS à l'échantillonnage pour les deux années est différente avec 16% et 21% en hiver, cette dernière est faible par rapport à celle trouvée par Boudechiche et al. (2010) qui est de 23.5%.

Au printemps, la moyenne respective des rendements en matière fraîche (**RMF**) et sèche (**RMS**) de chaque prélèvement de la parcelle Thouabet pour les deux années est de 590 et 103 Qx/ha et 336.3 et 24.3 Qx/ha respectivement (**Tableau 23**).

Tableau 23. Rendements (Qx/ha) de la parcelle Thouabet durant l'hiver et le printemps des deux années.

Année	Saison	Cadres	MS (%) à l'échantillonnage	RT frais (Qx/ha)	RT sec (Qx/ha)	
1	Hiver	1	18	368.8	66.4	
		2	18.41	352	64.8	
		3	19.07	664.8	126.8	
		4	16.03	334.4	53.6	
		5	13.65	694.4	94.8	
		6	14.02	428	60	
		7	14.94	468.4	70	
	Moyenne ± ET			16.30 ± 2.20	472.97 ± 148.64	76.63 ± 25.63
	Printemps	1	20.02	415.6	83.2	
		2	24.78	447.2	110.8	
		3	22.35	520.8	116.4	
		4	15.61	522.8	81.6	
		5	13.94	754.8	105.2	
		6	14.73	613.6	90.4	
7		15.36	854	131.2		
Moyenne ± ET			18.11 ± 4.26	589.83 ± 162.03	102.69 ± 18.48	
R²			0.08	0.14	0.28	
ETR			1.28	161.22	25.37	
P			NS	NS	*	
2	Hiver	1	24.76	128	10.9	
		2	27.31	96	9.5	
		3	18.75	190.8	12	
		4	19.22	219.6	13.6	
		5	22.45	178	13	
		6	16.35	171.6	10.1	
		7	20.81	153.2	11	
	Moyenne ± ET			21.38 ± 3.76	162.46 ± 40.99	11.44 ± 1.50
	Printemps	1	25.028	366.4	25.9	
		2	27.832	376	29.1	
		3	16.213	313.6	15.8	
		4	21.622	345.6	21.7	
		5	31.976	408	35.5	
		6	25.998	356	26.1	
7		27.511	188.4	15.9		
Moyenne ± ET			25.17 ± 5.04	336.29 ± 71.28	24.29 ± 7.12	
R²			0.18	0.72	0.65	
ETR			4.44	58.14	5.14	
P			NS	***	***	

MS : matière sèche ; RT : Rendement ; ET : écart type ; R² : coefficient de détermination ; ETR : écart type résiduel ; P=probabilité à 5% ; NS=P>0.05 ; * : P<0.05 ; *** : P < 0.001.

❖ Rendement en biomasse de la parcelle Braret

Concernant la parcelle Braret, le rendement en matière fraîche (RMF) et sèche (RMS) de chaque prélèvement des deux années d'étude est regroupé dans le **tableau 24**. La production moyenne de biomasse fraîche et sèche est de 180.16 et 42.24 Qx/ha respectivement en hiver, et de 505.31 et 104.97 Qx/ha au printemps pour l'année 1. En 2^{ème} année, la production moyenne de biomasse fraîche et sèche est de 340.08 et 47.04 Qx/ha respectivement en hiver, et de 336.29 et 24.29 Qx/ha au printemps (**tableau 24**).

La saison à elle seule explique 82% des variations de la production. Ce pic de production enregistré durant la période printanière, est dû aux températures et la réserve encore disponible en eau mais aussi à la proportion de Graminées qui est plus élevée au printemps. Cependant, durant la 2^e année, nous n'obtenons pas de différence significative entre saisons (NS) même si la production est plus élevée au printemps (47 vs 67.5 Qx/ha). La part des « autres » en hiver de la 2^e année dans l'abondance (27%) pourrait expliquer ces résultats. Boudechiche et al. (2010), rapportent des rendements nettement inférieurs par rapport aux nôtres, variant entre 65 et 55 Qx/ha respectivement pour l'hiver et le printemps et une teneur de MS comprise entre 10 et 24%.

Selon l'étude de Salhi et al. (2019), le potentiel fourrager des friches étudiées s'établit à 38 Qx/ha, alors que la teneur en MS est de 16.7 et 38.8% qui reste élevée comparée à nos résultats, dû à la qualité du fourrage produit. Kheddam et Adane (1996), trouvent que les prairies de la plaine de la Mitidja produisent en moyenne 41 Qx de MS/ha/an. La productivité de ces prairies est très variable et s'étend de 9 à 83 Qx de MS/ha/an. Ces chiffres selon ces auteurs correspondent à la quantité de fourrage récoltée et peuvent être inférieurs à la production réelle de la prairie en cas de sous exploitation.

Tableau 24. Rendements (Qx/ha) de la parcelle Braret durant l'hiver et le printemps des deux années d'étude.

Année	Saison	Cadres	% MS à l'échantillonnage	RT frais (Qx/ha)	RT sec (Qx/ha)	
1	Hiver	1	16.37	139.6	35.2	
		2	15.34	232	48	
		3	16,12	213.6	46.8	
		4	20.4	144.4	41.6	
		5	15.9	171.2	39.6	
	Moyenne ± ET		16.83 ± 2.03	180.16 ± 41.26	42.24 ± 5.27	
	Printemps	1	21.37	413.2	100.4	
		2	11.01	742.8	94.4	
		3	26.03	550.8	155.2	
		4	20.62	404.8	95.6	
		5	22.2	459.2	114	
	Moyenne ± ET		18.69 ± 5.65	505.31 ± 140.34	111.92 ± 25.41	
	R²			0.17	0.765	0.82
	ETR			4.19	103.4	18.36
P			NS	***	***	
2	Hiver	1	14.81	324	48	
		2	19.67	384.4	75.6	
		3	13.15	191.6	25.2	
		4	10.41	507.2	52.8	
		5	11.46	293.2	33.6	
	Moyenne ± ET		13.90 ± 3.63	340.08 ± 116.61	47.04 ± 19.41	
	Printemps	1	22.06	217.6	48	
		2	27.06	267.6	72.4	
		3	24.54	282	69.2	
		4	22.64	245.6	55.6	
		5	24.37	316.8	77.2	
	Moyenne ± ET		24.13 ± 1.96	265.92 ± 37.41	64.48 ± 12.22	
	R²			0.79	0.19	0.27
	ETR			1.31	90.52	17.84
P			*	NS	NS	

MS : matière sèche ; RT : rendement ; ET : écart type ; R² : coefficient de détermination ; ETR : écart type résiduel ; P=probabilité à 5% ; NS=P>0.05 ; * : P<0.05 ; *** : P < 0.001.

Chapitre III :

Caractérisation

chimique et

nutritionnelle

Chapitre III : Caractérisation chimique et nutritionnelle

La digestibilité *in vitro* est la mesure de la digestibilité potentielle d'un échantillon d'aliment ou de fourrage selon plusieurs techniques de laboratoire. Les valeurs de digestibilité *in vitro* obtenues à partir de ces techniques donnent un aperçu de la qualité nutritionnelle de différents aliments pour ruminants. Ces valeurs peuvent aider à évaluer la valeur alimentaire potentielle, la teneur énergétique et l'efficacité d'utilisation de divers aliments.

Les techniques de digestibilité *in vitro* consistent généralement à utiliser du liquide ruminal prélevé sur un ruminant, tel qu'une vache ou un mouton, et à l'incuber avec l'échantillon d'aliment dans des conditions contrôlées. Le liquide ruminal contient une population microbienne diversifiée, notamment des bactéries, des protozoaires et des champignons, qui jouent un rôle crucial dans la décomposition des hydrates de carbone complexes présents dans les aliments pour animaux.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'analyse fourragère et de la paroi puis la digestibilité *in vitro* par la méthode de Tilley et Terry (1963), des prélèvements des prairies étudiées précédemment (**Chapitre II**).

III.1 Matériel et méthodes

III.1.1 Analyses chimiques du fourrage

Les analyses fourragères sont effectuées selon la méthode d'AFNOR (1985) et la paroi par la méthode séquentielle de Van Soest et Wine (1968). Elles consistent en la détermination de la MS, MO, MM, MAT et les composés pariétaux (NDF, ADF, ADL).

Nous avons réalisé deux répétitions pour chaque analyse, les résultats sont rapportés en% de la MS. Nous ne développons pas les procédures néanmoins nous rappelons les principes et leur signification en **annexe 3**.

Les analyses ont été effectuées à l'INRAA (institut national de la recherche agronomique) et au laboratoire de zootechnie à l'ENSA pour les prélèvements d'hiver et de printemps et pour les foins aussi.

III.1.2 Digestibilité *in vitro*

Le protocole que nous avons utilisé est inspiré de la méthode préconisée par Tilley et Terry en 1963. Il est très utilisé dans le monde (Demarquilly et Jarrige, 1981). Sa mise en pratique exige :

- Un système de Bain Marie avec des tubes à essais de 100 ml,
- Une solution tampon de salive artificielle (**Mc Dougall, 1948**) dont le rôle est de contrôler les variations du pH dans le milieu,
- Une solution d'oligo-éléments (**Kumaresan, 1983**),
- Un fourrage témoin dont la digestibilité *in vivo* est connu avec justesse et exactitude, donc obtenue avec la méthode internationale de référence. Il sert à apprécier l'activité du jus de rumen,
- De l'inoculum de rumen (dit « jus de rumen »).

- **Composition des solutions utilisées**

Les compositions des différentes solutions utilisées sont données respectivement dans les **tableaux 25 et 26**.

Tableau 25. Composition de la salive artificielle Mc Dougall (1948).

Produits	Quantités (g)
Na ₂ HPO ₄ , 12H ₂ O	46.50
NaHCO ₃	49.00
NaCl	2.35
KCl	2.85
CaCl ₂	0.2
MgCl ₂	0.30

A ce litre de solution mère sont rajoutés 4 litres d'eau distillée. La salive artificielle ainsi obtenue est enrichie par la solution d'oligoéléments : 10 ml/l (**Tableau 26**), puis saturée en CO₂ jusqu'à un pH de 6.9.

Tableau 26. Composition de la solution d'oligoéléments (/L).

Eléments	Quantité (mg)	Sels utilisés	Poids du sel (g)
Zn	300	Zn SO ₄ 7H ₂ O	13.196
Co	3	CoCl ₂ , 6H ₂ O	0.012
Mn	615	Mn SO ₄ , H ₂ O	1.889
Fe	575	Fe SO ₄ , 7H ₂ O	2.862
Se	0.6	Se	0.0006
Cu	55	Cu SO ₄ , 5H ₂ O	0.216
Mo	0.7	MO ₂ (NH ₄) ₅ , 5 H ₂ O	0.009
I	1.4	I	0.0014

- **Le fourrage témoin**

Il s'agit d'un foin de luzerne (variété Triade, d'origine italienne) dont la digestibilité de la matière sèche (61.4%) a été déterminée avec justesse et précision par la méthode *in vivo* de référence avec récolte totale des fèces (Charlet-Levy, 1969). Le protocole de mise en place sera développé dans le chapitre suivant.

- **Sur le jus de rumen**

Le jus de rumen mélangé de plusieurs animaux est l'inoculum de choix pour recréer les conditions de dégradation des aliments dans le rumen et ainsi les évaluer. Il fournit

toutes les catégories de bactérie nécessaire à la dégradation de l'échantillon de fourrage. Il est donc très important que son activité résultant des bactéries qu'il renferme et dépendant de l'alimentation de l'animal donneur ne soit trop variable pendant les périodes de son utilisation.

Pour standardiser leur méthode, Tilley et Terry en 1963, disposaient de jus de rumen dont la qualité et la variabilité étaient contrôlées par une alimentation standard que recevaient les donneurs de jus. Ces animaux étaient porteurs à vie de fistules du rumen à travers lesquelles, ce jus « standard » était prélevé. Cette procédure était coûteuse en animaux fistulés et en main d'œuvre. Mais aussi l'opinion publique est de plus en plus hostile aux traitements invasifs que fait subir la recherche aux animaux. Le remplacement du jus de rumen par des enzymes industrielles a été exploré avec succès (Aufrère et al. 1990). D'autres alternatives comme : l'extraction d'un inoculum à partir des fèces dont le faciès microbiologique serait à peu près le même que celui du rumen (Dhanoa et al. 2004) ou encore, le prélèvement du jus de rumen directement à l'abattoir après l'abattage des animaux (Borba et al. 2001). Ces deux sources d'inoculum ne nécessitant pas des interventions chirurgicales invasives comme c'est le cas pour la pose des fistules. En effet, Tisserand et al. (1965) n'ont pas trouvé de différence d'activité entre un jus de mouton prélevé à l'abattoir et celui de moutons standard de laboratoire.

C'est cette dernière source d'inoculum que nous avons choisi d'utilisée pour évaluer la digestibilité de l'ensemble de nos échantillons prélevés sur les deux parcelles.

- **Sur le mode opératoire**

0.5 g de chaque échantillon à évaluer est traité en double en trois essais différents (soit 6 données par échantillon).

Chaque échantillon de 0.5g est mis dans un tube à centrifuger de 100 ml qui reçoit 40 ml de salive artificielle Mc Dougall (1948) enrichie en oligo éléments et 10 ml de jus de rumen (prélevé sur au moins six moutons aussitôt après leur abattage, à l'abattoir de proximité et transporté dans des bouteilles thermos). Avant utilisation, le jus est préalablement filtré sur cinq couches de gaze. Un échantillon du foin de luzerne dont nous avons déterminé la digestibilité (61.4% pour la MS) par la méthode internationale de référence sert de témoin de l'activité du jus. Un tube « blanc », qui ne reçoit que la salive

et le jus de rumen, est également mis en place. Les tubes ainsi préparés sont soumis pendant quelques secondes à un courant de CO₂ (pour reproduire les conditions d'anaérobiose du rumen), puis fermés par des bouchons traversés par un tube en verre servant de canalisation, lui-même surmonté d'un capuchon en plastique muni d'une fente pour l'évacuation des gaz excédentaires (**Figure 12**).

Les tubes sont ensuite incubés dans un bain Marie réglé à 39°C pendant 48h à l'abri de l'air. Cette température est contrôlée en permanence car suivi à l'aide d'un thermomètre. Pour nous permettre de traiter tous les échantillons en même temps et avec le même jus, nous avons utilisé en parallèle, deux bains Marie semblables. La **figure 13** montre l'incubation des échantillons en cours de réalisation.

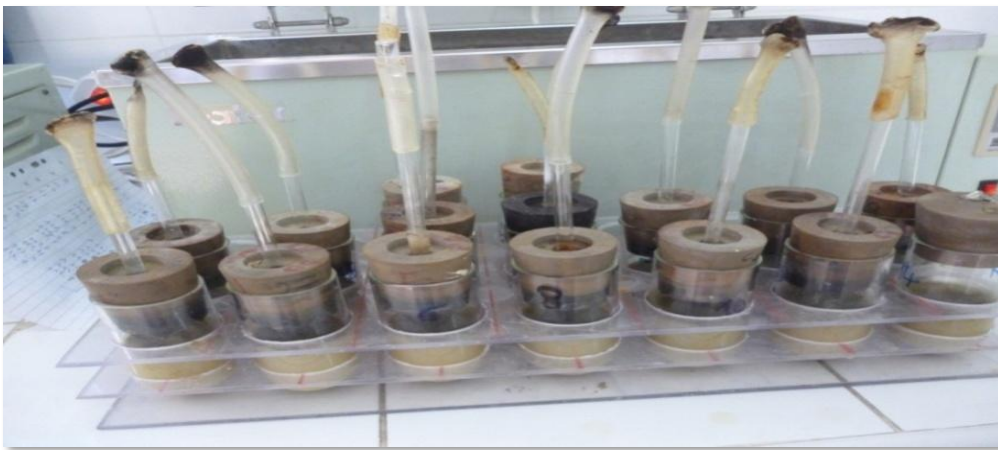


Figure 12. Tubes préparés, prêts à être incubés.



Figure 13. Tubes en incubation à 39°C dans le bain-marie.

A l'issue du temps d'incubation, la fermentation est arrêtée par addition de quelques gouttes de chlorure mercurique (HgCl₂ à 5%) dans chaque tube. Puis, le milieu est centrifugé pendant 10 minutes à 2500 G. Après rinçage, ils sont centrifugés de nouveau pendant 15 autres minutes. Le culot est récupéré et repris dans de la pepsine à 2% dans du HCl pendant 48h dans les mêmes conditions d'incubation que pour la première phase. A l'issue de ce temps les tubes sont rincés comme précédemment et mis à l'étuve réglée à 105°C pendant 48h puis pesé.

La détermination de la MS résiduelle permet de calculer la proportion de la MS disparue selon l'expression suivante :

$$\text{DIVMS (\%)} = 100 \times \frac{\text{MSI} - \text{MSR}}{\text{MSI}}$$

Avec :

- **DIVMS** = Digestibilité « *in vitro* » de la matière sèche.
- **MSI** = Matière sèche incubée.
- **MSR** = Matière sèche résiduelle (MS désincubée – MS du blanc).
- Les résultats sont alors corrigés par rapport au foin de luzerne témoin.

Afin de déterminer la digestibilité de la MO, le résidu sec est alors passé au four à 500°C pendant 24h pour minéralisation.

D'après Minson et MacLeod (1972), la digestibilité de la MO (par 100g de MS) peut être calculée selon l'équation suivante :

$$\text{dMS (\%)} = \frac{[\text{MS échantillon} - \text{MS résidu} - \text{MS blanc}]}{\text{MS échantillon}} \times 100$$

Avec : dMS = Digestibilité de la matière organique.

Les résultats des déterminations *in vitro* sont souvent cités comme digestibilité de la matière sèche, mais cette valeur inclut les cendres digestibles. Lorsque nécessaire, cet effet est surmonté en citant les résultats en matière organique digestible pour 100 g de matière sèche (Minson et al.1960).

III.2 Résultats des caractéristiques chimiques et nutritionnelles des échantillons

III.2.1 Caractéristiques chimiques

La connaissance de la composition chimique des fourrages est la première étape indispensable pour leur valorisation optimale en alimentation animale mais, elle varie avec de nombreux facteurs : l'espèce (les Légumineuses sont plus riches en azote que les Graminées), l'organe de la plante (feuilles plus que tiges), le stade phénologique (jeunes plantes plus que la plante âgée) (Jarrige, 1988). L'eau et la température influent sur toute la physiologie de la plante (Heller et al. 1995). En particulier, les fortes températures, le rayonnement solaire et la luminosité favorisent la lignification (Polle et al. 1994, Klein et al. 2014).

Pour augmenter l'efficacité alimentaire du bétail, la meilleure stratégie doit être adoptée, pour ce faire, une évaluation rapide de la composition nutritionnelle du fourrage devrait être disponible pour les agriculteurs (Ronga et al. 2020). Les quantités de l'azote, d'ADF, d'NDF et leurs fractions spécifiques dans la MS influencent la qualité des prairies et donc leurs effets sur la nutrition animale. La composition chimique des fourrages est la première étape indispensable à sa valorisation optimale en alimentation animale. Le **tableau 27**, donne les résultats de l'analyse fourragère de 2 années successives de la première parcelle étudiée (Thouabet) en hiver et au printemps.

Pour A1 l'analyse donne pour les composants chimiques MS, MM, MO et MAT, respectivement : 89.33, 15.14, 84.86, 12.54 en hiver et 94.6, 10.1, 90 et 9.6%, en moyenne pour les 7 prélèvements au printemps.

En A2, nous détenons pour les même composantes chimiques MS, MM, MO et MAT respectivement : 87.80, 14.46, 85.54, 11.67 en hiver et 91.2, 12.4, 87.6 et 8.4% au printemps.

La teneur en paroi des échantillons de la parcelle Thouabet pendant les 2 années est montrée par le **tableau 28**.

Tableau 27. Composition chimique de la parcelle Thouabet durant l'hiver et le printemps pendant 2 ans.

Année	Saison	Cadres	MS (%) à l'échantillonnage	MS (%)	En% MS		
					MM	MO	MAT
1	Hiver	1	18	89.25 ± 0.31	15.86 ± 0.39	84.14 ± 0.39	11.24 ± 1.03
		2	18.41	90.64 ± 0.09	17.33 ± 0.57	82.67 ± 0.57	12.00 ± 0.48
		3	19.07	89.59 ± 0.23	13.00 ± 0.14	87.00 ± 0.14	10.48 ± 0.83
		4	16.03	90.05 ± 0.02	13.66 ± 0.22	86.34 ± 0.22	11.43 ± 0.83
		5	13.65	88.35 ± 0.08	15.22 ± 0.34	84.78 ± 0.34	14.03 ± 0.49
		6	14.02	88.24 ± 1.05	13.98 ± 1.42	86.02 ± 1.42	12.89 ± 0.40
		7	14.94	89.17 ± 0.27	16.93 ± 1.52	83.07 ± 1.52	15.73 ± 0.19
	Moyenne ± ET		16.30 ± 2.20	89.33 ± 0.87	15.14 ± 1.67	84.86 ± 1.67	12.54 ± 1.82
	Printemps	1	20.02	96.14 ± 0.37	10.69 ± 0.32	89.31 ± 0.32	9.40 ± 0.22
		2	24.78	94.30 ± 0.40	8.89 ± 0.06	91.11 ± 0.06	6.26 ± 0.21
		3	22.35	93.81 ± 0.34	8.16 ± 0.15	91.84 ± 0.15	8.78 ± 0.28
		4	15.61	95.41 ± 0.12	10.17 ± 0.16	89.83 ± 0.16	12.00 ± 0.47
		5	13.94	93.78 ± 0.41	11.61 ± 0.12	88.39 ± 0.12	8.95 ± 0.68
		6	14.73	94.49 ± 0.14	9.95 ± 0.03	90.05 ± 0.03	9.95 ± 0.29
7		15.36	93.98 ± 0.20	10.75 ± 0.19	89.25 ± 0.19	11.95 ± 0.27	
Moyenne ± ET		18.11 ± 4.25	94.56 ± 0.89	10.03 ± 1.17	89.97 ± 1.17	9.61 ± 1.99	
R²				0.91	0.79	0.79	0.4
ETR				2.84	2.99	2.99	2.38
P				***	***	***	*
2	Hiver	1	24.76	87.39 ± 0.07	13.09 ± 0.05	86.91 ± 0.05	12.80 ± 0.27
		2	27.31	87.23 ± 0.03	11.64 ± 0.04	88.36 ± 0.04	9.53 ± 0.54
		3	18.75	87.81 ± 0.07	16.00 ± 0.19	84.00 ± 0.19	13.91 ± 0.40
		4	19.22	87.61 ± 0.01	15.03 ± 0.11	84.97 ± 0.11	11.11 ± 0.00
		5	22.45	88.42 ± 0.18	11.30 ± 0.09	88.70 ± 0.09	11.79 ± 2.46
		6	16.35	86.73 ± 0.10	13.51 ± 0.01	86.49 ± 0.01	11.57 ± 0.27
		7	20.81	89.42 ± 0.25	20.67 ± 0.73	79.33 ± 0.73	10.95 ± 0.28
	Moyenne ± ET		21.38 ± 3.76	87.80 ± 0.88	14.46 ± 3.22	85.54 ± 3.22	11.67 ± 1.40
	Printemps	1	25.03	89.60 ± 0.11	12.31 ± 0.03	87.69 ± 0.03	7.74 ± 0.14
		2	27.83	90.37 ± 0.05	10.77 ± 0.12	89.23 ± 0.12	6.13 ± 0.00
		3	16.21	88.78 ± 0.13	16.78 ± 0.04	83.22 ± 0.04	14.46 ± 0.14
		4	21.62	89.41 ± 0.00	14.05 ± 0.10	85.95 ± 0.10	9.77 ± 0.28
		5	31.98	94.72 ± 0.07	8.54 ± 0.06	91.46 ± 0.06	6.63 ± 0.00
		6	26	94.95 ± 0.00	10.20 ± 0.03	89.80 ± 0.03	6.33 ± 0.15
7		27.51	90.58 ± 0.03	14.42 ± 0.40	85.58 ± 0.40	7.43 ± 0.14	
Moyenne ± ET		25.17 ± 5.04	91.20 ± 2.55	12.44 ± 2.84	87.56 ± 2.84	8.35 ± 2.96	
R²				0.48	0.11	0.11	0.37
ETR				1.91	3.03	3.03	2.31
P				**	NS	NS	*

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MO : matière organique ; MAT : matière azotée total ; ET : écart type ; R² : coefficient de détermination ; ETR : écart type résiduel ; P : probabilité ; NS : non significatif ; * : P < 0.05 ; ** : P < 0.01 ; *** : P < 0.001.

Tableau 28. Composition pariétale de la parcelle Thouabet durant l'hiver et le printemps pendant 2 ans.

Année	Saison	Cadres	MS (%)	MS (%)				
				NDF	HCOSE	ADF	Cellulose	Lignine
1	Hiver	1	90.25 ± 0.27	66.96 ± 0.89	27.80 ± 1.02	39.16 ± 0.13	33.41 ± 0.37	3.89 ± 0.10
		2	89.93 ± 0.17	67.88 ± 0.15	31.14 ± 2.41	36.74 ± 0.92	33.86 ± 1.7	3.29 ± 0.45
		3	89.6 ± 0.11	68.37 ± 0.57	24.88 ± 0.88	43.49 ± 0.31	39.75 ± 0.27	3.95 ± 0.03
		4	89.6 ± 0.11	60.03 ± 0.22	21.71 ± 0.68	38.32 ± 0.9	31.90 ± 1.84	5.94 ± 2.22
		5	88.55 ± 0.07	52.03 ± 0.08	14.49 ± 0.24	37.54 ± 0.16	28.54 ± 0.05	8.55 ± 0.26
		6	87.72 ± 1.00	51.65 ± 1.48	16.02 ± 1.12	35.63 ± 0.36	25.74 ± 1.22	8.55 ± 0.27
		7	90.34 ± 0.01	43.32 ± 1.15	11.80 ± 0.56	31.52 ± 0.17	24.42 ± 1.09	5.52 ± 0.42
	Moyenne ± ET		89.41 ± 0.96	58.61 ± 9.46	21.12 ± 7.03	37.49 ± 3.63	31.09 ± 5.3	5.67 ± 2.18
	Printemps	1	96.14 ± 0.37	71.05 ± 0.60	26.83 ± 0.31	44.21 ± 0.28	33.98 ± 0.11	9.4 ± 0.44
		2	94.30 ± 0.40	71.90 ± 0.58	29.26 ± 0.86	42.64 ± 0.29	33.51 ± 0.29	8.97 ± 0.16
		3	93.81 ± 0.34	72.21 ± 0.06	29.02 ± 1.17	45.16 ± 1.67	33.47 ± 1.23	8.9 ± 0.06
		4	89.46 ± 0.11	57.35 ± 0.00	22.76 ± 0.91	34.598 ± 0.1	28.50 ± 0.54	5.58 ± 0.52
		5	88.52 ± 0.14	59.27 ± 2.32	16.65 ± 1.41	42.62 ± 0.90	31.66 ± 0.91	10.59 ± 0.27
		6	89.87 ± 0.09	60.60 ± 0.12	12.50 ± 1.19	48.10 ± 0.3	36.11 ± 0.24	10.83 ± 0.61
7		88.65 ± 0.04	58.44 ± 1.40	15.94 ± 0.46	42.52 ± 0.94	32.72 ± 0.34	9.41 ± 0.63	
Moyenne ± ET		91.54 ± 2.76	64.40 ± 6.92	21.85 ± 6.85	42.83 ± 4.15	32.85 ± 2.35	9.10 ± 1.73	
R²				0.119	0.795	0.701	0.253	0.453
ETR				2.190	1.529	1.414	1.065	0.522
P				NS	***	***	*	***
2	Hiver	1	87.39	31.27 ± 0.07	9.45 ± 0.35	21.83 ± 0.42	17.55 ± 0.22	3.76 ± 0.21
		2	87.23	39.40 ± 0.03	16.02 ± 0.25	23.38 ± 0.28	20.22 ± 0.11	2.24 ± 0.15
		3	87.81	36.47 ± 0.13	11.64 ± 0.51	24.83 ± 0.64	20.33 ± 0.17	3.50 ± 0.33
		4	87.61	51.05 ± 0.17	21.55 ± 0.30	29.49 ± 0.13	25.52 ± 0.00	2.38 ± 0.02
		5	88.42	48.51 ± 0.19	21.88 ± 0.19	26.63 ± 0.00	24.10 ± 0.22	2.25 ± 0.25
		6	86.73	34.2 ± 1.48	10.83 ± 1.50	23.37 ± 0.02	18.15 ± 0.57	4.89 ± 0.55
		7	89.42	31.92 ± 2.03	8.86 ± 0.06	23.06 ± 0.09	15.75 ± 0.60	4.14 ± 0.20
	Moyenne ± ET		87.80 ± 0.88	38.97 ± 7.91	14.32 ± 5.56	24.66 ± 2.62	20.23 ± 3.52	3.31 ± 1.04
	Printemps	1	89.6	61.22 ± 0.75	25.23 ± 0.05	36.00 ± 0.80	31.65 ± 0.60	3.12 ± 0.20
		2	90.37	63.88 ± 1.37	28.24 ± 0.01	35.64 ± 1.38	32.11 ± 1.37	2.61 ± 0.06
		3	88.78	35.58 ± 0.48	6.88 ± 0.02	28.7 ± 0.46	20.44 ± 1.06	8.01 ± 0.64
		4	89.41	48.67 ± 0.33	16.02 ± 1.43	32.65 ± 1.76	26.30 ± 1.20	6.04 ± 0.36
		5	94.72	63.38 ± 0.39	27.43 ± 2.48	35.96 ± 2.08	31.52 ± 1.12	4.16 ± 0.98
		6	94.95	58.4 ± 0.28	21.40 ± 0.29	37.00 ± 0.57	31.68 ± 0.10	5.04 ± 0.58
7		90.58	62.47 ± 0.50	28.29 ± 0.96	34.18 ± 1.46	29.01 ± 1.31	2.97 ± 0.02	
Moyenne ± ET		91.20 ± 2.55	56.23 ± 10.50	21.93 ± 7.99	34.30 ± 2.85	28.96 ± 4.30	4.56 ± 1.95	
R²				0.5	0.26	0.78	0.59	0.16
ETR				9.29	6.88	2.74	3.93	1.57
P				**	NS	***	**	NS

MS : matière sèche ; NDF : Neutral detergent fiber ; ADF : Acid detergent fiber ; HCOSE : Hémicellulose ; ET : écart type ; R² : coefficient de détermination ; ETR : écart type résiduel ; P : probabilité ; NS : non significatif ; * : P < 0.05 ; ** : P < 0.01 ; *** : P < 0.001.

L'analyse donne pour NDF, hémicellulose, ADF, cellulose et lignine de A1 les valeurs respectivement : 58.61, 21.12, 37.49, 31.09, 5.67% MS en hiver et 64.40, 21.85, 42.83, 32.85, 9.10% MS au printemps.

En revanche pour A2 la paroi totale diminue comme le montre les valeurs 38.97, 14.32, 24.66, 20.23, 3.31% MS en hiver et 56.23, 21.93, 34.30, 28.96, 4.56% MS respectivement au printemps pour les mêmes composantes.

Dans ce paragraphe, nous insisterons plus particulièrement sur la teneur en lignine brute (ADL) au printemps, premier facteur limitant de la digestibilité des fourrages (Besle et Jouany, 1990) et celle en azote, activateur bien connu de l'activité microbienne dans le rumen (Hoden, 1973).

Les valeurs de l'ADL sont significativement différentes ($P < 0.001$) avec 9 et 5% respectivement enregistrées en A1 et A2 pour nos échantillons. Elles sont comparables, à celles indiquées par Yahiaoui (2011) sur support : jachère, chaumes et steppe. Nous rappelons ici que, les travaux de Van Soest et Wine (1968) et ceux de Giger (1985), ont montré que les Légumineuses fourragères sont plus riches en lignine que les Graminées. La teneur en lignine de l'échantillon prélevé sera donc d'autant plus élevée que les Légumineuses seront bien représentées et inversement. C'est bien ce que nous obtenons. La plus forte teneur en ADL : 9% correspond bien à la plus forte représentativité des Légumineuses des échantillons en année 1 : (64%) et inversement : 5% pour 41%. Des trois espèces de Légumineuses spontanées dominantes inventoriées, seule *Hedysarum flexuosum* (communément appelé Sulla) a fait l'objet de travaux spécifiques en Algérie par exemples Kadi et al. (2011), Ait Aoudia et Atek (2017), Kadi et al. (2017), Zirmi-Zembri et Kadi (2020). Il en est ressorti que la teneur en ADL a varié entre 9 et 11% et les MAT entre 17 (floraison) et 22% (bourgeoisement).

Pour la parcelle (Braret), le **tableau 29**, donne les résultats de l'analyse fourragère de 2 années successives en hiver et au printemps.

Pour l'année 1 l'analyse donne pour les composants chimiques MS, MM, MO et MAT, respectivement : 88.22, 16.12, 83.88, 20.52 en hiver et 94.26, 8.91, 91.09, 10.46% en moyenne pour les 5 prélèvements au printemps.

Tableau 29. Composition chimique de la parcelle Braret durant l'hiver et le printemps pendant deux ans.

Année	Saison	Cadres	MS (%) à l'échantillonnage	MS (%)	En% MS		
					MM	MO	MAT
1	Hiver	1	14.81	86.68 ± 0.30	15.62 ± 0.05	84.38 ± 0.05	19.11 ± 0.67
		2	19.67	86.69 ± 0.54	14.88 ± 0.37	85.12 ± 0.37	18.64 ± 0.67
		3	13.15	88.70 ± 0.29	16.05 ± 0.31	83.95 ± 0.31	15.75 ± 0.53
		4	10.41	89.96 ± 0.34	15.83 ± 0.09	84.17 ± 0.09	22.40 ± 0.75
		5	11.46	88.89 ± 0.17	18.21 ± 0.10	81.79 ± 0.10	26.71 ± 0.44
	Moyenne ± ET		13.90 ± 3.63	88.22 ± 1.47	16.12 ± 1.25	83.88 ± 1.25	20.52 ± 4.19
	R ²			0.95	0.98	0.98	0.99
	ETR			0.3	0.17	0.17	0.3
	P			*	***	***	***
	Printemps	1	22.06	93.86 ± 0.14	9.78 ± 0.76	90.22 ± 0.76	9.60 ± 0.44
		2	27.06	93.86 ± 0.29	7.97 ± 0.90	92.03 ± 0.90	9.48 ± 0.27
		3	24.54	94.21 ± 0.16	7.92 ± 0.44	92.08 ± 0.44	11.05 ± 0.42
		4	22.64	94.05 ± 0.09	9.89 ± 0.42	90.11 ± 0.42	12.50 ± 0.34
		5	24.37	95.30 ± 0.12	8.98 ± 0.12	91.02 ± 0.12	9.67 ± 0.19
	Moyenne ± ET		24.13±1.96	94.26±0.54	8.91±0.85	91.09±0.85	10.46±1.17
	R ²			0.96	0.75	0.75	0.98
	ETR			0.10	0.42	0.42	0.17
	P			**	NS	NS	***
	R ²			0.90	0.92	0.93	0.77
	ETR			3.35	3.94	3.94	6.06
P			***	***	***	**	
2	Hiver	1	16.37	92.23 ± 0.47	12.04 ± 0.14	87.95 ± 0.14	13.41 ± 0.82
		2	15.34	92.61 ± 0.66	13.66 ± 0.26	86.33 ± 0.26	15.59 ± 0.97
		3	16,12	90.62 ± 0.65	12.37 ± 0.24	87.62 ± 0.24	15.76 ± 0.45
		4	20.4	91.25 ± 0.93	15.60 ± 1.18	84.39 ± 1.18	15.19 ± 0.32
		5	15.9	91.41 ± 0.02	10.98 ± 0.27	89.01 ± 0.27	17.73 ± 0.33
	Moyenne ± ET		16.83 ± 2.03	91.62 ± 0.88	12.93 ± 1.72	87.06 ± 1.72	15.54 ± 1.52
	R ²			0.72	0.94	0.94	0.9
	ETR			0.44	0.4	0.4	0.44
	P			NS	**	**	*
	Printemps	1	21.37	91.88 ± 0.31	15.60 ± 0.75	84.39 ± 0.75	13.1 ± 0.08
		2	11.01	90.77 ± 0.49	14.60 ± 0.01	85.39 ± 0.01	11.08 ± 1.02
		3	26.03	91.23 ± 0.91	13.97 ± 0.09	86.02 ± 0.09	12.61 ± 0.02
		4	20.62	92.32 ± 0.14	9.70 ± 0.33	90.29 ± 0.33	12.44 ± 1.10
		5	22.2	92.52 ± 0.23	10.31 ± 0.32	89.68 ± 0.32	13.98 ± 0.40
	Moyenne ± ET		18.69 ± 5.65	91.74 ± 0.78	12.84 ± 2.52	87.15 ± 2.52	12.64 ± 1.12
	R ²			0.77	0.98	0.98	0.78
	ETR			0.35	0.28	0.28	0.49
	P			NS	***	***	NS
	R ²			0.005	0.001	0.001	0.564
	ETR			0.235	0.684	0.684	0.424
P			NS	NS	NS	***	

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MO : matière organique ; MAT : matière azotée totale ; ET : écart type ; R² : coefficient de détermination ; ETR : écart type résiduel ; P : probabilité ; NS : non significatif ; * : P < 0.05 ; ** : P < 0.01 ; *** : P < 0.001.

En 2^{ème} année, nous détenons pour les mêmes composantes chimiques MS, MM, MO et MAT respectivement : 91.62, 12.93, 87.06, 15.54 en hiver et 91.74, 12.84, 87.15, 12.64 au printemps.

L'analyse de la variance entre les différents cadres prélevés, révèle une différence significative ($p < 0.001$) pour les MM, MO et MAT en hiver, alors qu'elle est hautement significative seulement pour les MM et MO au printemps. Ces différences peuvent être expliquées par la composition floristique de chaque cadre et le lieu de prélèvement sur la parcelle qui dénote une hétérogénéité du couvert végétal de la parcelle.

La saison influe fortement sur la teneur en MAT de la prairie ($P < 0.001$) où elle explique à elle seule 56% des variations. L'âge des plantes prélevées explique cette différence, car au fur et à mesure que la plante vieillit la teneur en MAT diminue et celle des parois augmente.

D'après Soltner. (1999), la teneur en matière organique augmente de façon importante et régulière avec l'âge de la plante et elle peut être influencée par les facteurs agro climatiques en particulier la température élevée, par la famille botanique et le stade de développement.

Pour la teneur en matières minérales des fourrages, Baumont et al. (2009), rapportent qu'elles varient fortement avec la famille botanique d'une part, les réserves du sol, la disponibilité des éléments minéraux et l'efficacité de captation racinaire vers les organes aériens de la plante, d'autre part.

La teneur en paroi des échantillons de la parcelle Braret pendant les 2 années est montrée par le **tableau 30**.

L'analyse donne pour NDF, hémicellulose, ADF, cellulose et lignine de la 1^{ère} années les valeurs respectivement : 58.61, 21.12, 37.49, 31.09, 5.67% MS en hiver et 64.40, 21.85, 42.83, 32.85, 9.10% MS au printemps.

En revanche pour la 2^{ème} année la paroi totale diminue comme le montre les valeurs 44.82, 14.04, 30.78, 24.64, 5.54% MS en hiver et 61.81, 17.97, 43.84, 35.61, 8.20% MS respectivement au printemps pour les mêmes composantes.

Tableau 30. Composition pariétale de la parcelle Braret durant l'hiver et le printemps pendant deux ans.

Année	Saison	Cadres	MS% à l'échantillonnage	MS%	En% MS					
					NDF	HCOSE	ADF	Cellulose	Lignine	
1	Hiver	1	14.81	88.83 ± 0.03	43.16 ± 0.62	11.73 ± 0.94	31.43 ± 1.56	24.96 ± 0.98	5.73 ± 0.71	
		2	19.67	88.48 ± 0.06	49.52 ± 1.42	14.63 ± 0.79	34.89 ± 0.62	27.66 ± 1.37	6.72 ± 0.79	
		3	13.15	89.17 ± 0.13	41.26 ± 1.18	17.89 ± 0.70	23.37 ± 0.48	18.35 ± 0.13	4.49 ± 0.34	
		4	10.41	88.16 ± 0.08	43.85 ± 0.23	10.71 ± 0.75	33.14 ± 0.98	27.62 ± 0.58	5.06 ± 0.57	
		5	11.46	88.83 ± 0.02	46.29 ± 1.21	15.25 ± 0.73	31.04 ± 0.48	24.63 ± 0.31	5.72 ± 0.20	
	Moyenne ± ET			13.90 ± 3.63	88.69 ± 0.38	44.82 ± 3.10	14.04 ± 2.87	30.78 ± 4.41	24.64 ± 3.80	5.54 ± 0.83
	Printemps	1	22.06	89.70 ± 0.00	55.59 ± 0.87	15.42 ± 1.42	40.16 ± 0.43	32.82 ± 0.11	7.12 ± 0.25	
		2	27.06	90.13 ± 0.06	62.42 ± 0.22	17.29 ± 1.04	45.13 ± 1.26	35.97 ± 0.81	8.92 ± 0.3	
		3	24.54	89.75 ± 0.00	65.62 ± 0.71	21.08 ± 0.10	44.54 ± 0.81	36.75 ± 0.19	7.47 ± 0.64	
		4	22.64	89.73 ± 0.44	59.18 ± 0.73	16.64 ± 0.96	42.54 ± 0.23	33.78 ± 0.38	8.54 ± 0.02	
		5	24.37	89.31 ± 0.20	66.24 ± 0.54	19.40 ± 0.28	46.84 ± 0.26	37.58 ± 0.04	8.96 ± 0.35	
	Moyenne ± ET			24.13 ± 1.96	89.72 ± 0.26	61.81 ± 4.25	17.97 ± 2.23	43.84 ± 2.48	35.61 ± 1.92	8.20 ± 0.85
	R ²					0.853	0.404	0.799	0.792	0.722
	ETR					1.176	0.795	1.093	0.918	0.275
P					***	**	***	***	***	
2	Hiver	1	16.37	87.8 ± 0.27	33.12 ± 1.30	7.93 ± 0.5	25.20 ± 0.79	16.73 ± 1.34	7.62 ± 0.73	
		2	15.34	89.10 ± 0.06	38.74 ± 0.84	11.78 ± 1.56	26.97 ± 0.72	19.00 ± 2.11	4.18 ± 0.87	
		3	16.12	89.65 ± 0.03	46.22 ± 1.86	18.50 ± 0.24	27.72 ± 1.62	20.60 ± 1.63	7.52 ± 1.28	
		4	20.40	88.61 ± 0.09	43.33 ± 2.00	16.19 ± 0.92	27.13 ± 1.08	21.19 ± 1.21	5.01 ± 0.46	
		5	15.90	88.31 ± 0.09	35.06 ± 0.63	9.15 ± 0.34	25.90 ± 0.97	19.24 ± 0.45	6.10 ± 0.34	
	Moyenne ± ET			16.83 ± 2.03	88.69 ± 0.71	39.29 ± 5.49	12.71 ± 4.53	26.21 ± 0.97	19.35 ± 1.73	6.22 ± 1.38
	Printemps	1	21.37	89.31 ± 0.07	57.19 ± 2.06	18.53 ± 1.16	38.66 ± 1.75	31.43 ± 1.44	6.93 ± 0.28	
		2	11.01	87.03 ± 0.13	42.77 ± 0.09	11.38 ± 0.28	31.39 ± 0.40	25.28 ± 1.04	5.83 ± 0.61	
		3	26.03	89.91 ± 0.10	69.65 ± 1.60	24.04 ± 0.29	45.61 ± 1.97	37.35 ± 1.13	6.44 ± 0.55	
		4	20.62	89.92 ± 0.28	59.24 ± 1.37	19.73 ± 0.69	39.51 ± 0.69	31.95 ± 0.04	6.38 ± 0.53	
		5	22.20	89.94 ± 0.04	60.39 ± 1.55	18.55 ± 0.23	41.84 ± 1.78	33.42 ± 1.82	7.29 ± 0.08	
	Moyenne ± ET			18.69 ± 5.65	89.13 ± 1.21	57.85 ± 9.69	18.45 ± 4.32	39.40 ± 5.05	31.89 ± 4.22	6.57 ± 0.63
	R ²					0.628	0.329	0.771	0.812	0.029
	ETR					2.380	1.365	1.163	1.022	0.344
P					***	**	***	***	NS	

MS : matière sèche ; NDF : Neutral detergent fiber ; ADF : Acid detergent fiber ; HCOSE : Hémicellulose ; ET : écart type ; R² : coefficient de détermination ; ETR : écart type résiduel ; P : probabilité ; NS : non significatif ; * : P < 0.05 ; ** : P < 0.01 ; *** : P < 0.001.

III.2.2 Caractéristiques nutritionnelles des échantillons des deux parcelles

Les **tableaux 31 et 32** donnent les caractéristiques nutritionnelles des prélèvements des deux parcelles pendant deux années en hiver et au printemps.

En hiver, la DIV est en moyenne 52.63 et 67.02% MS en année 1 et année 2 respectivement pour la parcelle Thouabet et de 61.09 et 64.52% MS respectivement en année 1 et année 2 pour la parcelle Braret.

Au printemps, la DIV est en moyenne 45.89 et 51.75% MS en année 1 et année 2 respectivement pour la parcelle Thouabet et de 46.27 et 48.63% MS respectivement en année 1 et année 2 pour la parcelle Braret.

L'analyse de variance, montre une différence significative entre saison de la DIV en faveur de l'hiver pour les deux années et les deux parcelles. Cette différence entre saison est clairement expliquée par la composition botanique du couvert végétal, la digestibilité diminuant avec l'augmentation de la teneur en paroi au printemps (**tableaux 31 et 32**).

La teneur en parois et leur digestibilité évoluent dans la plante selon des processus dépendant du temps. Au cours d'un cycle de pousse, la teneur en parois végétale augmente avec la croissance de la plante, et la digestibilité des parois diminue avec le vieillissement des tissus (Duru et al. 2008). On comprend donc aisément la diminution de digestibilité avec l'âge de la plante, ou le stade de végétation au cours des cycles reproducteurs. Lente tant que la plante est végétative, la diminution de digestibilité s'accélère pour les Graminées à partir de la montaison. Elle est plus linéaire pour les légumineuses.

Tableau 31. Les digestibilités *in vitro* de la parcelle Thouabet en hiver et au printemps durant deux ans.

Année	Saison	Cadres	MS (%)	DIV (%)
1	Hiver	1	89.25 ± 0.31	43.44
		2	90.64 ± 0.09	42.86
		3	89.59 ± 0.23	45.64
		4	90.05 ± 0.02	55.11
		5	88.35 ± 0.08	65.82
		6	88.24 ± 1.05	53.13
		7	89.17 ± 0.27	62.42
	Moyenne ± ET		89.33 ± 0.87	52.63 ± 9.17
	Printemps	1	96.14 ± 0.37	41.40
		2	94.30 ± 0.40	40.53
		3	93.81 ± 0.34	42.70
		4	95.41 ± 0.12	50.65
		5	93.78 ± 0.41	47.89
		6	94.49 ± 0.14	43.86
7		93.98 ± 0.20	54.25	
Moyenne ± ET		94.56 ± 0.89	45.89 ± 5.15	
R²				0.193
ETR				2.81
P				NS
2	Hiver	1	87.39 ± 0.07	70.74
		2	87.23 ± 0.03	62.14
		3	87.81 ± 0.07	66.94
		4	87.61 ± 0.01	63.95
		5	88.42 ± 0.18	61.35
		6	86.73 ± 0.10	75.85
		7	89.42 ± 0.25	68.18
	Moyenne ± ET		87.80 ± 0.88	67.02 ± 5.14
	Printemps	1	89.60 ± 0.11	48.86
		2	90.37 ± 0.05	43.04
		3	88.78 ± 0.13	68.15
		4	89.41 ± 0.00	58.46
		5	94.72 ± 0.07	48.35
		6	94.95 ± 0.00	50.25
7		90.58 ± 0.03	45.15	
Moyenne ± ET		91.20 ± 2.55	51.75 ± 8.71	
R²				0.571
ETR				2.7
P				**

MS : matière sèche ; DIV : digestibilité *in vitro* ; ET : écart type ; R² : coefficient de détermination ; ETR : écart type résiduel ; P : probabilité ; NS : non significatif ; * : P < 0.05 ; ** : P < 0.01 ; *** : P < 0.001.

Tableau 32. La digestibilité *in vitro* de la Parcelle Braret en hiver et au printemps durant deux ans.

Année	Saison	Cadres	MS%	DIV%
1	Hiver	1	88.83 ± 0.03	59.33 ± 3.16
		2	88.48 ± 0.06	56.03 ± 2.09
		3	89.17 ± 0.13	66.11 ± 3.99
		4	88.16 ± 0.08	65.76 ± 4.59
		5	88.83 ± 0.02	58.22 ± 4.02
	Moyenne ± ET		89.72 ± 0.26	61.09 ± 4.58
	Printemps	1	89.70 ± 0.00	53.21 ± 1.11
		2	90.13 ± 0.06	49.46 ± 3.98
		3	89.75 ± 0.00	40.37 ± 2.29
		4	89.73 ± 0.44	50.13 ± 6.65
		5	89.31 ± 0.20	58.22 ± 4.02
Moyenne ± ET		89.72 ± 0.26	50.28 ± 6.53	
R²				0.591
ETR				1.256
P				***
2	Hiver	1	87.8 ± 0.27	70.00 ± 2.69
		2	89.10 ± 0.06	66.20 ± 4.08
		3	89.65 ± 0.03	59.16 ± 5.16
		4	88.61 ± 0.09	63.79 ± 3.88
		5	88.31 ± 0.09	63.46 ± 5.71
	Moyenne ± ET		88.69 ± 0.71	64.52 ± 3.97
	Printemps	1	89.31 ± 0.07	46.83 ± 5.48
		2	87.03 ± 0.13	64.99 ± 2.78
		3	89.91 ± 0.10	39.16 ± 5.65
		4	89.92 ± 0.28	49.73 ± 3.60
		5	89.94 ± 0.04	44.5 ± 2.68
Moyenne ± ET		89.13 ± 1.21	49.63 ± 9.73	
R²				0.508
ETR				1.600
P				***

MS : matière sèche ; DIV : digestibilité *in vitro* ; ET : écart type ; R² : coefficient de détermination ; ETR : écart type résiduel ; P : probabilité ; NS : non significatif ; * : P < 0.05 ; ** : P < 0.01 ; *** : P < 0.001.

III.2.3 Relations entre années, saison et parcelles et paramètres agronomiques

Les corrélations entre les années, saison, parcelles et les paramètres mesurés ont été étudiées à l'aide d'une analyse GLM (SAS, 2017) et le résultat est présenté dans le **tableau 33**. La signification a été déclarée à $P < 0.05$ et la tendance à $0.05 < P < 0.10$.

Tableau 33. Relations entre années, périodes, parcelles et paramètres agronomiques.

Années	1				2				ESM	P		
	Hiver		Printemps		Hiver		Printemps			Années	Saison	Parcelle
Parcelle	B	T	B	T	B	T	B	T				
Rendement	42.24	76.63	111.92	102.69	47.04	11.44	64.48	24.29	16.66	<0.001	<0.001	0.013
MS	88.18	89.33	94.26	94.56	91.62	87.80	91.74	91.20	1.30	0.013	<0.001	0.062
MO	83.88	84.86	91.09	89.97	87.06	85.54	87.15	87.56	2.16	0.330	<0.001	0.620
MAT	20.52	12.54	10.46	9.61	15.54	11.67	12.64	8.36	2.23	0.066	<0.001	<0.001
NDF	44.82	58.61	61.81	64.40	39.29	38.97	57.85	56.23	7.94	0.0003	<0.001	0.128
ADF	30.77	37.49	43.84	42.84	26.58	24.66	39.40	34.30	3.50	<0.001	<0.001	0.749
DIV	61.09	52.63	50.28	45.90	64.52	67.02	49.03	51.75	7.03	0.010	<0.001	0.360

B=Braret ; T= Thouabet ; P probabilité ; ESM : Erreur standard de la moyenne ; P : probabilité.

Tout d'abord nous remarquons l'effet « saison » sur tous les paramètres ($P < 0.001$) analysés. Les valeurs de P très faibles ($P < 0.001$) des rendements suggèrent une différence significative entre années, saisons et parcelles. Cette différence significative de rendement indique que ces facteurs ont un impact important sur la performance des prairies.

Le rendement varie significativement d'une année à l'autre. Cela peut être dû à des facteurs tels que les conditions climatiques (températures et pluviométrie surtout).

Les rendements sont généralement plus élevés au printemps qu'en hiver en raison de la croissance plus active des plantes et des conditions météorologiques plus favorables.

Le rendement des prairies permanentes varie significativement d'une parcelle à l'autre. Cela peut être dû à des facteurs tels que le type de sol, la topographie, l'historique de gestion et la composition floristique.

Les valeurs moyennes de MS varient entre environ 87 et 94%, avec des fluctuations relativement faibles entre les différentes années, saisons et parcelles.

Les valeurs P indiquent que les différences de MS entre les années et les saisons sont statistiquement significatives ($P < 0.001$), mais il n'y a pas de différence significative entre les parcelles ($P = 0.062$), ce qui pourrait être attribuable à des facteurs environnementaux tels que les conditions météorologiques. Cette variation peut être due à plusieurs facteurs, tels que les précipitations, la température et les cycles de culture. La stabilité de la MS entre les parcelles suggère que les différences dans les caractéristiques du sol entre les parcelles ne jouent pas un rôle majeur dans la variation de la MS.

Les valeurs moyennes de MO varient également entre environ 84 et 91% MS, avec des fluctuations similaires à celles observées pour la MS.

Contrairement à la MS, la MO ne montre pas de variation significative entre les années, les saisons ou les parcelles ($P > 0.05$ dans tous les cas). Cela suggère que la quantité de matière organique dans le sol reste relativement constante malgré les variations saisonnières et annuelles. Une quantité stable de MO peut contribuer à la fertilité du sol, à sa capacité de rétention d'eau et à sa résistance à l'érosion.

Les valeurs de MAT varient entre environ de 8 à 20.5% MS. La valeur de P est significative entre saisons et parcelles.

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer l'effet de la parcelle :

- Différences de fertilité du sol : la disponibilité des nutriments dans le sol peut varier d'une parcelle à l'autre, ce qui peut affecter la croissance des plantes et la valeur MAT.
- Conditions d'eau : l'accès à l'eau peut différer entre les parcelles, en raison de variations de la topographie, du drainage ou des pratiques d'irrigation. Cela peut également influencer la valeur MAT.
- Propriétés physiques du sol : la texture, la structure et la porosité du sol peuvent varier d'une parcelle à l'autre, ce qui peut affecter la croissance des racines et l'absorption des nutriments, influençant ainsi la valeur MAT.
- Présence de ravageurs ou de maladies : l'infestation par des ravageurs ou des maladies peut être plus importante dans certaines parcelles que dans d'autres, ce qui peut nuire à la santé des plantes et réduire la valeur MAT.

Les valeurs moyennes de NDF varient entre environ 39 et 65% MS et celle d'ADF varient entre environ 25 et 44% MS, montrant une certaine variabilité entre les différentes années, saisons et parcelles.

Le P value indique des différences significatives de NDF entre les années et les saisons ($P < 0.001$ dans les deux cas), mais pas entre les parcelles ($P = 0.128$). Comme pour le NDF, le P value révèle des différences significatives d'ADF entre les années et les saisons ($P < 0.001$ dans les deux cas), mais pas entre les parcelles ($P = 0.749$).

Les variations significatives de NDF et d'ADF entre les années et les saisons suggèrent que ces composants des plantes varient en réponse à des conditions environnementales changeantes.

Les variations de NDF et d'ADF sont importantes pour l'évaluation de la qualité des fourrages, car ces composants sont liés à la digestibilité des plantes. Des valeurs plus élevées de NDF et d'ADF peuvent indiquer une qualité de fourrage inférieure, ce qui peut affecter la nutrition et la performance des animaux qui les consomment.

Les valeurs moyennes de DIV sont comprises entre 41 et 67% MS, montrant une variabilité significative entre les différentes saisons ($P < 0.001$), mais pas entre les années ($P = 0.203$) et les parcelles ($P = 0.973$).

La différence entre saison peut être attribuée à des variations dans la composition des plantes, telles que la teneur en fibres, en protéines et en sucres, ainsi qu'à des facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité et la lumière du soleil.

Il est intéressant de noter que la DIV n'a pas présenté de différences significatives entre les parcelles. Cela suggère que les différences dans la gestion agricole (fauche annuelle) ou les caractéristiques du sol entre les parcelles n'ont pas d'impact majeur sur la digestibilité des plantes évaluée par cette mesure.

Chapitre IV :
Caractérisation
chimique et valeur
alimentaire des foins
des prairies étudiés

Chapitre IV : Caractérisation chimique et valeur alimentaire des foins des prairies étudiés

Chez les ruminants, la digestion s'effectue dans un système digestif spécialisé qui leur permet de décomposer et d'extraire les nutriments des aliments d'origine végétale. Le processus de digestion chez les ruminants implique plusieurs compartiments de l'estomac et une interaction complexe de micro-organismes.

La digestibilité des aliments pour ruminants est influencée par plusieurs facteurs, notamment la composition des espèces de Graminées, le stade de maturité et les conditions environnementales.

La digestibilité *in vivo* chez les ruminants est généralement évaluée par des essais d'alimentation, au cours desquels les animaux sont nourris en *ad libitum* avec des quantités mesurées d'un régime spécifique, et l'ingestion et l'excrétion des nutriments sont mesurées. Ces essais permettent de déterminer la digestibilité de divers nutriments, tels que la matière sèche, les protéines brutes, les fibres et les minéraux. Les valeurs de digestibilité obtenues à partir de ces expériences fournissent des informations précieuses pour formuler des régimes équilibrés pour les ruminants et évaluer la qualité nutritionnelle de différents aliments pour animaux.

La digestibilité *in vivo* donne une représentation plus précise de la digestibilité réelle dans les organismes vivants, car elle tient compte de la complexité du processus digestif et des interactions avec d'autres nutriments. C'est pour cela nous abordons dans ce chapitre la digestibilité *in vivo*.

Ce chapitre s'appuie sur la mesure de la digestibilité *in vivo* de foin récolté pendant 3 années successives sur la parcelle Thouabet.

IV.1 Matériel et méthodes

IV.1.1 Caractérisation chimique des foins étudiés

Dosages chimiques : l'analyse fourragère (MS, MO et MAT) a été réalisée selon AFNOR (1985). La paroi totale (NDF), la lignocellulose (ADF) et la lignine brute (ADL) selon Van Soest (1963). Le chapitre III.1 donne les détails des protocoles utilisés.

IV.1.2 La mesure de la digestibilité *in vivo*

❖ Déroulement de l'expérimentation

- **Le matériel végétal**

Le foin de prairie de Dellys, provient de la parcelle Thouabet, récoltés pendant 3 années successives. Le fauchage est réalisé chaque année, la troisième semaine du mois de mai par beau temps. Il est séché au sol, puis bottelé et stocké sous un hangar ventilé.

- **Les animaux**

Dans notre expérimentation, nous avons effectués nos essais sur 4 ovins adultes non castrés de race *Ouled Djellal*, âgés entre 24 et 30 mois, en bonne santé, pesant entre 45 et 52 kg de poids vif au début du travail. Avant de commencer l'expérimentation, les animaux ont été vaccinés par injection sous cutanée d'un antiparasite interne et externe (IVOMEC). Par la suite ils ont été adaptés à la consommation du foin durant 21 jours dans des box individuels. La méthode de digestibilité utilisée est celle de la récolte totale des fèces de Charlet-Levy (1969). Les rations de foin ont été distribuées *ad libitum* sans compléments, deux fois par jour (9h et 16h) en veillant à un refus de 15% du distribué par rapport à l'ingéré de la veille. L'eau de boisson est laissée à volonté. Pour éviter les grosses chaleurs qui pourraient diminuer l'ingestion du foin, les études ont lieu d'octobre à décembre chaque année de récolte. La température moyenne dans les locaux était comprise entre 15 et 26°C.

Durant les essais, les animaux sont pesés à trois occasions : à l'entrée et à la sortie des box individuels pour l'adaptation au régime foin et à la fin des mesures de la digestibilité.

- **Les mesures**

Pendant la période de mesure, les quantités d'aliment (foin) distribuées et refusées par les animaux sont pesées quotidiennement afin de mesurer la MSI. Nous avons prélevé 100 g d'échantillon, placés à l'étuve à la température de 105°C pendant 24h pour déterminer la MS. Ces échantillons sont cumulés par animal et pour toute la période en vue d'analyses. À la fin de chaque période de mesure, les échantillons sont broyés et stockés pour analyse chimique.

Pour la phase de mesure de la digestibilité (10jours), les animaux sont montés en cages à métabolisme. Une récolte des fèces quotidienne est réalisée selon la méthode de Charlet-Levy (1969). Les fèces souillées par les urines sont récoltées et pesés séparément. Des échantillons de 100g de fèces propres sont prélevés par animal, séchés et cumulés durant toute la période puis broyés et conservés en vue des analyses chimiques.

- ❖ **Dosages chimiques**

L'analyse fourragère : teneur en matière organique (MO) et en matières azotées totales (MAT) a été réalisée selon AFNOR (1985). La paroi totale (NDF), la lignocellulose (ADF) et la lignine brute (ADL) selon Van Soest (1963) (voir **chapitre III.1**). Les UFL (unité fourragère lait) et MAD (matières azotées digestibles), sont calculés selon INRA (1988).

- ❖ **Calcul de l'ingestion et de la digestibilité**

- **L'ingestion**

La quantité de matière sèche ingérée est calculée sur toute la période de mesure, elle est exprimée par la différence entre le distribué sec et le refus sec journalier :

$$\text{MSI (g)} = \text{MSD} - \text{MSR}$$

Avec : **MSD** = quantité de matière sèche distribuée en (g).

MSR = quantité de matière sèche refusée en (g).

- **Digestibilité apparente de la ration**

Le coefficient d'utilisation digestif apparent des composants de la ration (MS, MO, MAT) est déterminé selon l'équation :

$$CUD_{apparent} = \frac{(D_{(g)} - R_{(g)}) - E(g)}{D_{(g)} - R_{(g)}} \times 100$$

- **CUD** : coefficient d'utilisation digestive ;
- **D** : Aliment distribué ;
- **R** : Aliment refusé ;
- **E** : Fèces excrétées.

❖ **Calcul de niveau alimentaire énergétique et azotée**

• **Niveau alimentaire énergétique (NAe)**

Le niveau alimentaire énergétique est calculé en considérant les besoins d'entretien en énergie égaux à 23g de MODI/Kg P^{0.75}.

$$NAe = \frac{\text{Quantité MODI}_{(g/Kg P^{0,75})}}{23}$$

Avec : **MODI** = matière organique digestible ingérée.

• **Niveau alimentaire azoté (NAn)**

Le niveau alimentaire azoté est calculé en considérant les besoins d'entretien en azote équivalent à 2.52g de MADI/Kg P^{0.75}.

$$NAn = \frac{\text{Quantité MADI}_{(g/Kg P^{0,75})}}{2.52}$$

Avec : **MADI** = matière azotée digestible ingérée.

IV.2 Résultats et discussion

IV.2.1 La composition chimique et pariétale des trois foins de prairie

La composition chimique du foin de prairie utilisé pour nos animaux est notée dans le **tableau 34**.

Tableau 34. Composition chimique et pariétale du foin distribué des 3 années.

Ration	MS%	En% de MS							
		MM	MO	MAT	NDF	HCOSE	ADF	Cel	Lig
FA1	88.68 ±0.33	7.28 ±0.10	92.72 ±0.10	4.83 ±0.18	68.17 ±1.45	20.74 ±1.13	34.43 ±0.35	35.18 ±1.98	11.59 ±1.88
FA2	93.38 ±0.18	7.52 ±0.57	92.48 ±0.57	5.20 ±0.43	75.15 ±0.90	31.25 ± 4.29	43.91 ±3.39	37.27 ±3.80	6.25 ±0.57
FA3	89.47 ±0.06	7.81 ±0.32	92.19 ±0.32	5.50 ±0.22	79.17 ±0.07	26.26 ±1.26	52.90 ±1.19	43.82 ±0.86	8.36 ±0.52

FA1 : Foin de l'année 1 ; FA2 : foin de l'année 2 ; FA3 : foin de l'année 3 ; MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MO : matière organique ; MAT : matière azotée totale ; NDF : neutral detergent fiber ; HCOSE : hémicellulose ; ADF : acid detergent fiber ; Cel : cellulose ; Lig : lignine.

La teneur en MS est comparable à celle trouvée sur des foins mixtes (Arab et al. 2009) qui est de 89.2% et à celle trouvée par Mayouf et Meziane (2015), sur foin de sorgho avec 88.2% (88.68, 89.47 et 93.38% respectivement pour FA1, FA2 et FA3).

Les teneurs en matière minérale de ce foin sont comparables entre les trois années d'expérimentation sur la même parcelle. Ces taux ont tendance à baisser comparés aux prélèvements de l'hiver et du printemps.

La teneur en MAT reste faible avec 4.83, 5.50 et 5.20% MS comparée à d'autres foins ventilés de prairies étrangères de Suisse et des Pays de Loire qui sont de 12.9 et de 13.7% MS (Delaby et Peccatte, 2008). Ces résultats s'expliquent par les stades phénologiques des espèces composant la masse végétale.

Pour les MM, la valeur minimale atteinte au printemps correspond au stade épiaison des Graminées. La teneur en MAT est normalement plus faible comparée à celle donnée en hiver et début de printemps. La teneur en MAT diminue avec l'âge de la plante (Semsar et al. 2008)

Cela s'explique également par la composition botanique de la famille, où les Légumineuses ne prédominent pas, ainsi que par des conditions de séchage défavorables. En effet, le foin est laissé au sol pendant une semaine avant d'être mis en bottes, entraînant le dessèchement et la perte des feuilles qui restent sur le sol lors de la récolte.

Les variations des niveaux de composants chimiques observées pendant le séchage au sol résultent des processus enzymatiques qui surviennent dans la plante après la fauche, ainsi que des pertes mécaniques subies lors de la fenaison, en plus d'une éventuelle exposition au lessivage causé par la pluie.

Cependant, la teneur en MAT des foins maghrébins est faible comparativement aux résultats étrangers. Il explique cette faible teneur en azote au stade tardif auquel ils sont fanés (Chermiti, 1997). Le taux de cellulose brute évolue d'une manière inversement proportionnelle au taux de MAT. Ce taux est maximal au printemps (épiaison des Graminées).

Pour les teneurs en NDF et ADF sont respectivement de 34.43 et 31.25% MS, 34.43 et 43.91% MS pour A1 et A2. Pour A3 la teneur en paroi totale NDF est élevée avec 79.17% MS.

Les variations des teneurs en NDF, telles qu'expliquées par Jarrige (1988), peuvent résulter d'une évolution différenciée du rapport feuilles/tiges, étant donné que les tiges renferment davantage de parois cellulaires.

IV.2.2 Valeur alimentaire des trois foins de prairie et productivité de la parcelle sur 3 ans

❖ Ingestion

- **Matière organique et matières azotées totales ingérées (MOI et MATI)**

L'ingestion de matières organiques (MOI) des foins par les moutons est en moyenne de 65 g/kg P^{0.75}, soit : 53, 70 et 71 g/kg P^{0.75} en A1, A2 et en A3. Le foin de A1 étant moins bien ingéré (p = 0.01) que A2 et A3 (**tableau 35**).

Tableau 35. Ingestibilité, rendement digestif et productivité en UFL et MAD.

Foins	P ^{0.75}	Paramètres digestifs				Productivité (/ha)	
		g/kg P ^{0.75}		En%		Unités	Tonnes
		MOI	MATI	dMO	dMAT	UFL	MAD
FA1	18.95 ±1.77	53.52 ±2.98	2.84 ±0.14	50.37 ±4.02	31.73 ±7.05	4618	0.223
FA2	18.27 ±0.72	69.96 ±0.47	4.30 ±0.11	57.37 ±3.37	57.46 ±1.59	3671	0.224
FA3	18.84 ±0.95	71.28 ±1.04	4.38 ±0.34	57.27 ±4.67	51.51 ±5.70	2223	0.138
Moyenne	18.69 ±0.28	64.92 ±7.60	3.84 ±0.67	55.00 ±3.09	46.90 ±10.11	3504 ±1206	0.195 ±0.05
P		0.01	0.001	0.05	0.01	0.05	0.05

FA1 : Foin de l'année 1 ; FA2 : foin de l'année 2 ; FA3 : foin de l'année 3 ; P^{0.75} : poids métabolique ; MOI : matière organique ingérée ; MATI : matière azotée totale ingérée ; dMO : digestibilité de la matière organique ; dMAT : digestibilité de la matière azotée totale ; UFL : unité fourragère pour la production de lait. ; MAD : matières azotées digestibles ; P : probabilité.

La plus faible ingestion d'A1 peut être expliquée par sa teneur élevée en lignine ADL : 12% (**Tableau 35**), comparable à celle d'une paille de céréale. En effet, pour un animal nourri à volonté avec un fourrage, les quantités ingérées, dépendent de la place disponible dans le rumen. Il en résulte que plus un aliment est digestible, plus il sera rapidement dégradé dans le rumen et plus rapide y sera libérée de la place, pour permettre de nouvelles prises alimentaires (Welch, 1986).

❖ Digestibilité

• Digestibilité de la matière organique (dMO) des foins ingérés

La dMO des fourrages est le paramètre fondamental de leur valeur nutritionnelle. Elle est très fortement corrélée ($R^2= 0.99$) avec leur teneur en énergie digestible, métabolisable (EM) et en énergie nette pour la production de lait ou de viande (INRA, 2007b). Nos foins présentent une dMO moyenne de 55% MS (A1 : 50% ; A2 : 57% et A3 57%) celle de A1 étant plus faible ($P=0.05$) que celle de A2 et A3 (**tableau 35**).

Les trois foins se positionnent dans les 25% (1er quartile) des plus faibles valeurs de digestibilités d'un panel de taille importante de dMO de 371 fourrages algériens examinés par Chibani et al. (2010).

• Digestibilité des matières azotées (dMA) ingérées

La digestibilité du foin en A1 : 32% MS est plus faible ($p = 0.01$) que celle des foins en A2 et en A3, respectivement 57 et 51% MS (**tableau 35**). Ces deux valeurs, sont en accord avec celles couramment obtenues en Algérie pour des foins divers (Chibani et al. 2010).

La faible digestibilité des matières azotées (dMA) dans le foin A1 ne peut pas être imputée à une teneur réduite en matières azotées (MA), car les trois foins présentent des niveaux similaires, soit environ 5% de la MS. Le facteur probablement influant serait la présence notable de *Hedysarum flexuosum* dans la biomasse de l'A1, reconnue pour sa richesse en tanins condensés (Waghorn et al. 1994). Ces tanins pourraient altérer la palatabilité du foin en engendrant une amertume et une astringence, ce qui aurait des répercussions sur l'ingestion du fourrage et, par conséquent, sur le métabolisme de l'azote. De plus, en raison de leurs affinités multiples avec les protéines, ces substances pourraient former des complexes avec les enzymes du rumen et de l'intestin, influençant ainsi la dégradation des matières azotées et favorisant la formation des fractions B3 et C de l'azote indigestible des fourrages. Cette observation concorde avec les conclusions du **National Research Council (NRC) (2001)** et est corroborée par les travaux d'Aufrère et al. (2013).

❖ Productivité en UFL et en MAD.

Les deux rendements qualitatifs (que nous avons calculés à partir des caractéristiques agronomiques de la parcelle Thouabet : nombre d'UFL/ha et tonnes de MAD/ha) évoluent dans le même sens que la productivité en MS pour les trois années de récolte. Ainsi, la productivité en UFL est dégressive d'A1 à A3. Celle de A1 est significativement supérieure ($P < 0.05$) à celle obtenue en A2 et en A3, A2 étant à son tour supérieure ($P < 0.05$) à A3 (**tableau 35**).

Pour la productivité en MAD, elle est faible, avec en moyenne 200 kg/ha, affectée par la faible digestibilité des MAT du foin produit en A1 : 32% MS contre 57 et 52% MS respectivement en A2 et en A3, il s'en suit une productivité en MAD comparable en A1 et en A2 (220 kg/ha) et inférieure ($P < 0.05$) en A3 (138 kg).

L'ANOVA (FA1) ~ (FA2) ~ (FA3), comparant les paramètres nutritionnels et alimentaires des trois foins, y sont intégrés.

En moyenne, sur les trois années d'essais, la productivité de la parcelle en unités fourragère (UF) en une seule coupe par an, est acceptable : 3500 unités/ha elle est du même ordre de grandeur que celle habituellement relevée dans la littérature.

❖ **Les niveaux alimentaires en énergie (NAe) et en azote (NAn) des animaux**

Les MODI passent de 26.91 à 40.1 et 40.83 g/kg P^{0.75} respectivement en A1, A2 et A3. Ces valeurs entraînent un NAe de 1.17, 1.74 et 1.77 pour les trois années, donc des rations couvrant largement les besoins d'entretien de nos ovins comme le montre le **tableau 36**.

Tableau 36. Les niveaux alimentaires en énergie (NAe) et en azote (NAn) des animaux consomment nos rations des deux années d'études.

Foin	P ^{0.75}	Bilan métabolique				Variations de poids (g/j)
		g/kg P ^{0.75}		% de couverture des BE		
		MODI	MADI	NAe	NAn	
FA1	18.95 ± 1.77	26.90 ± 1.21	0.97 ± 0.09	117 ± 5	38 ± 7	+ 10
FA2	18.27 ± 0.72	40.14 ± 2.65	2.47 ± 0.06	174 ± 12	98 ± 3	+ 30
FA3	18.80 ± 0.95	40.82 ± 9.40	2.26 ± 0.13	177 ± 41	90 ± 5	+ 40
Moyenne	18.7 ± 03	39.07 ± 8.11	1.88 ± 0.61	156 ± 35	75 ± 26	+ 27
P		0.003	0.001	0.046	0.001	-

FA1 : Foin de l'année 1 ; FA2 : foin de l'année 2 ; FA3 : foin de l'année 3 ; P^{0.75} : poids métabolique ; MODI : matières organiques digestibles ingérées ; MADI : matières azotées digestibles ingérées. NAe : niveaux alimentaires en énergie ; NAn : niveaux alimentaires en azote ; P : probabilité

Pour le foin de A1 (FA1), le NA1 en azote (NAn) qu'il procure, n'est que de 38% des recommandations, contre respectivement 98% et 90% pour les foins FA2 et FA3 (P= 0.001). Ici, nous observons l'impact de la composition chimique défavorable du foin A1 et de ses rendements digestifs faibles, comme discuté précédemment, en comparaison avec les foins FA2 et FA3. En pratique, les animaux nourris pendant une période prolongée avec le foin A1 pourraient perdre du poids, épuiser leurs réserves, voire risquer de mourir d'inanition. Les foins d'A2 et A3 ne présentent pas non plus un statut azoté très favorable.

Deux explications possibles : d'une part, sur une période courte, les ruminants peuvent compenser un déficit d'azote d'origine alimentaire, par une augmentation de recyclage d'urée par la salive dans le rumen (Hoover, 1986) et d'autre part, les recommandations de besoins nutritionnels pour ovins, préconisées par INRA (1988) pour les races améliorées françaises que nous avons prises comme référence pour établir notre protocole alimentaire pourraient être surestimées pour notre race locale Ouled djellal (O.D). En effet, dans un travail d'avant-garde en Algérie, Triki (2003), a montré que les besoins d'entretien en azote et en énergie de la race O D étaient plus faibles que ceux indiqués par l'INRA pour les races françaises : Hadjem, par un autre travail en 2006, a confirmé ce constat.

Ainsi, au lieu de 23g de MODI et de 2.52 g de MAD par kg $P^{0.75}$ préconisés par l'INRA pour couvrir les besoins nutritionnels d'entretien de l'ovin local que nous avons utilisé dans notre protocole de travail, ces besoins s'établiraient respectivement à 22.03 de MODI et 2.02 g de MAD par kg $P^{0.75}$, soit : -5% et - 20% respectivement pour l'énergie et pour les MAD. Sur ces dernières bases, les besoins d'entretien en énergie, de la race seraient globalement conformes alors que ceux en MAD seraient surestimés de 20%. Ce constat ne serait pas étonnant, compte tenu de la rusticité bien connue de la race O D (Chellig, 1992). Par ailleurs, il est indiqué également par Chabaca et Chibani (2010), citant Demarquilly et Andrieu. (1992) que nos moutons indigènes consommeraient par kg $P^{0.75}$ plus de fourrages de qualité médiocre que ceux des pays européens.

En affectant le taux de couverture des besoins en MAD permis par les foins d'une correction de 20%, il passerait de 0.38 à 0.47% pour FA1, de 0.98 à 1.18% pour FA2 et de 0.90 à 1.08. Pour FA3. Cette correction ne bouleverse pas fondamentalement, la hiérarchie alimentaire des trois foins, mais permet d'expliquer pourquoi, celui d'A1 malgré son profil défavorable, a permis contre toute attente, un gain de poids symbolique durant la période expérimentale.

D'une manière générale, la faible valeur nutritive des foins tardifs récoltés en Algérie, résulte de leur richesse en parois et faiblesse en azote. Cette qualité médiocre des foins est induite par des pertes importantes de feuilles du foin lors des manipulations et du séjour prolongé au sol (Amrane et Oukacha, 2009).

En prenant en compte l'impact cumulatif du stockage, de la conservation entraînant la fragilité des feuilles, de la respiration des plantes, ainsi que du lessivage causé par la pluie pendant le séchage au champ de foin, il en résulte une diminution significative de la qualité du fourrage. Les pluies modérées ont pour effet de réduire légèrement les niveaux des constituants intracellulaires, principalement les sucres, les minéraux solubles et les matières azotées, dans le foin. Cette diminution entraîne une baisse de la digestibilité et, par conséquent, de la valeur nutritive globale du fourrage.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de cette thèse était de révéler à travers l'étude de ces parcelles de prairie, les attributs botaniques (composition floristique), agronomiques (productivité quantitative et qualitative de biomasse) et la digestibilité *in vitro* et *in vivo* des parcelles de prairies permanentes du Centre de l'Algérie. Il en résulte :

- Que, sur les deux années d'études, 19 espèces de 10 familles végétales ont été inventoriées pour les deux parcelles en hiver et au printemps. Parmi ces dernières, deux sont fortement dominantes au printemps : les *Poaceae* et les *Fabaceae* qui représentent le plus grand pourcentage de la couverture végétale de la parcelle, les restants sont partagés principalement entre les *Convolvulaceae* et les *Asteraceae*. Il s'en suit en termes qualitatifs un faciès botanique favorable.

- La production de biomasse sèche produite en hiver est en minimum 12 Qx/ha et en maximum 77 Qx/ha. Au printemps, elle est de 24 Qx/ha au minimum et 105 Qx/ha au maximum, est supérieure à celle couramment réalisée dans le pays. Elle s'explique probablement en partie par cette bonne cooccurrence bien connue entre Légumineuses et Graminées, mais aussi peut être par un échantillonnage trop tardif.

Comme pour une très grande majorité de prairies du monde, la couverture végétale est dominée par des *Poaceae* (Ici : *Avena sterilis*) et des *Fabaceae* (Ici : *Hedysarum flexuosum*) pour les deux parcelles en deux saisons.

- La composition chimique des foins est caractérisée, par une teneur élevée en lignine : 6 à 12% MS en moyenne et par une teneur en matières azotées en moyenne de 5% MS pour les trois ans d'étude.

- La digestibilité *in vitro* en hiver varie entre 52 et 67% MS pour les deux parcelles pendant deux années et au printemps entre 46 et 52% MS pour les deux parcelles pendant deux années.

- Le niveau d'ingestion des trois foins est en moyenne de : 65% (53, 70 et 71 g/kg P^{0.75}). Celui en A1 : 53%, tout juste moyen est dû à sa richesse en lignine (12%) et sa déficience en azote (5%) et une présence probable de tanins condensés, apportés par les

Fabaceae vivaces en A1. Celui en A2 et A3 est correct et se situe parmi les plus élevés mesurés en Algérie.

- La moyenne de la digestibilité de l'azote (dMAT) : 47% (32, 57, 51) est faible, impactée par le foin de A1 (32%). Celle moyenne de la matière organique (dMO) : 55% (50, 57, 57) se situe dans le premier quartile des valeurs de dMO de fourrages mesurés en Algérie (51 - 61). Les mêmes causes pour l'ingestion, sont données pour expliquer la dMAT et la dMO. On peut donc déduire que nos trois foins avec une teneur en MAT de l'ordre de 5% et une moyenne de digestibilité de 47% sont loin de pouvoir assurer l'apport d'azote dont ont besoin les microorganismes pour assurer leur activité de croissance, de dégradation et de synthèse, même avec l'appui de l'azote endogène. De surcroit d'être valoriser en produits animaux : lait, viande, laine et d'assurer la reproduction des animaux dans des bonnes conditions. Il y a donc, la nécessité de compléter fortement en concentrés en grande partie importés, donc à empreinte écologique élevée. Cependant les prairies permanentes constituent une source importante d'alimentation pour le bétail et peuvent contribuer à la réduction du déficit fourrager en Algérie. Dans ce cas il est nécessaire de s'intéresser à cette ressource et l'améliorer car elles jouent un rôle non seulement comme source d'aliment en Algérie mais aussi un rôle très important sur l'environnement et le changement climatique.

Perspectives

Au terme de cette étude (ou de ce travail), nous proposons des perspectives utiles pour améliorer de la qualité des prairies permanentes.

1. Amélioration de la composition floristique

Nous proposons l'introduction de Légumineuses comme le trèfle, la luzerne et le lotier, qui enrichissent le fourrage en protéines et augmentent la fertilité des sols grâce à leur capacité à fixer l'azote. Parallèlement, la diversification des espèces par l'association de Graminées, telles que le ray-grass et la fétuque, avec des Légumineuses améliore la résilience des prairies face aux conditions climatiques variables. Ces espèces doivent être soigneusement sélectionnées pour s'adapter aux sols et au climat local, garantissant ainsi une productivité et une pérennité accrues.

2. Gestion des prairies

Le respect des dates de récolte, qu'il s'agisse de la fauche ou du pâturage, est crucial pour préserver la qualité et la quantité du fourrage. Par ailleurs, il est impératif d'éviter le surpâturage, qui peut gravement affecter le couvert végétal. La fertilisation doit être adaptée aux besoins spécifiques des sols, en privilégiant un équilibre entre engrais organiques et minéraux, pour stimuler la croissance des plantes tout en maintenant leur diversité.

3. Recherche et suivi

Des études régulières permettent d'évaluer la composition, la productivité et l'état de santé des prairies, ainsi que d'approfondir la compréhension des interactions entre sol, plantes et climat. En parallèle, la formation des agriculteurs et des techniciens agricoles aux pratiques modernes d'amélioration et de gestion des prairies est essentielle pour favoriser leur adoption et assurer leur efficacité à long terme.

4. Complémentation des rations

Pour répondre aux besoins nutritionnels croissants du cheptel, il est nécessaire d'introduire le foin des prairies au calendrier fourrager. Aussi l'utilisation d'additifs alimentaires, tels

que des vitamines, des minéraux ou des probiotiques, peut améliorer la digestion des animaux et optimiser leur efficacité alimentaire, contribuant ainsi à une meilleure productivité du cheptel.

5. Sensibilisation à l'environnement

Les prairies permanentes jouent un rôle environnemental crucial, en particulier dans la captation du carbone, la préservation de la biodiversité et la lutte contre l'érosion des sols comme cela a été souligné dans la partie bibliographique. Il est donc essentiel de promouvoir ces bénéfices auprès des agriculteurs et des communautés rurales. Des pratiques de gestion durables, comme le pâturage tournant et l'agroforesterie, doivent être encouragées pour protéger les écosystèmes locaux tout en garantissant une production agricole responsable.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abbas, K. et Abdelguerfi, A. (2005).** Perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones céréalières semi-arides. *Fourrages*, 184, 533-546.
- Abdelguerfi A. et Hakimi M. (1990).** Les prairies naturelles permanentes en Algérie. *Ann. Inst. Nat. Agron. El-Harrah*, vol 74, N° 1-2, p.p. 1-12.
- Abdelguerfi A., Laouar M., M'Hammedi Bouzina M. (2008).** Les productions fourragères et pastorales en Algérie : Situation et Possibilités d'Amélioration. *Revue Semestrielle Agriculture et développement (INVA, Alger)*, janvier 2008, n°6 : 14-25.
- ABDELGUERFI, A., et Hakimi, M. (1990).** Les prairies naturelles permanentes en Algérie.
- AFNOR, (1985).** Recueil des normes françaises. Aliments des animaux. Méthodes d'analyses françaises et communautaires, 2eme éd., Paris, 359 p.
- AGRESTE. (2017).** Cultures Fourragères. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/donnees-de-synthese/statistique-agricole-annuellesaa/>
- Ait Aoudia, M., et Atek, S. (2017).** Evolution des taux de MS, MO, MM du *Sulla flexuosa* en fonction du stade végétatif et des différentes parties de la plante (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Al Haj Khaled, R. (2005).** *L'évaluation des caractéristiques agronomiques d'espèces prairiales par leurs traits de vie comme étape préalable au diagnostic des communautés à flore complexe* (Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine). 290 pages.
- Allan, E., Manning, P., Alt, F., Binkenstein, J., Blaser, S., Blüthgen, N., Böhm, S., Grassein, F., Hölzel, N., et Klaus, V. H. (2015).** Land use intensification alters ecosystem multifunctionality via loss of biodiversity and changes to functional composition. *Ecology Letters*, 18(8), 834–843.
- Ambroise, R., et Toublanc, M. (2010).** Le paysage comme outil et résultante d'un projet d'élevage durable. *Fourrages (Versailles)*, 203, 189–197.
- Amiaud, B., et Carrère, P. (2012).** La multifonctionnalité de la prairie pour la fourniture de services écosystémiques. *Fourrages*, 211, 229–238.
- Amrane, R., et Oukacha, E. (2009).** Prediction of digestibility and energetic value by chemical and enzymatic methods of oat-vetch hay harvested in Algeria.
- An, H., Wu, X., Zhang, Y., et Tang, Z. (2019).** Effects of land-use change on soil inorganic carbon: A meta-analysis. *Geoderma*, 353, 273–282.
- Angst, G., Mueller, K. E., Nierop, K. G. J., et Simpson, M. J. (2021).** Plant-or microbial-derived? A review on the molecular composition of stabilized soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 156, 108189.

- Arab, H., Haddi, M. L., & Mehennaoui, S. (2009).** Évaluation de la valeur nutritive par la composition chimique des principaux fourrages des zones aride et semi-aride en Algérie. *Sciences & Technologie*, 30, 50-58.
- Arrouays, D., Balesdent, J., Germon, J.C., Jayet, P.A., Soussana, J.F., Stegel, P., (2002).** Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? *Rapport* (Doctoral dissertation, Inra).
- Atzberger, C. (2013).** Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote Sensing*, 5(2), 949–981.
- Aufrère, J., & Demarquilly, C. (1989).** Predicting organic matter digestibility of forage by two pepsin-cellulase methods. *Proceedings of the XVI International Grassland Congress*, 877–878.
- Aufrère, J., Michalet-Doreau, B., et Graviou, D. (1990).** Relations entre la dégradabilité de l'azote des aliments concentrés dans le rumen et sa digestibilité dans l'intestin, et certains critères biochimiques. *Reproduction Nutrition Development*, 30(Suppl. 2), 163s-164s.
- Aufrère, J., Emile, J. C., Dozias, D., Delaby, L., Le Morvan, A., Barre, P., et Baumont, R. (2013).** Variation et prévision de la valeur énergétique de l'ensilage de sorgho plante entière. In 20. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants (p. np). Institut de l'Elevage-INRA.p105.
- Bahram, M., Hildebrand, F., Forslund, S. K., Anderson, J. L., Soudzilovskaia, N. A., Bodegom, P. M., Bengtsson-Palme, J., Anslan, S., Coelho, L. P., et Harend, H. (2018).** Structure and function of the global topsoil microbiome. *Nature*, 560(7717), 233–237.
- Bai, Y., et Cotrufo, M. F. (2022).** Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. *Science*, 377(6606), 603–608.
- Bailey, D. W., Gross, J. E., Laca, E. A., Rittenhouse, L. R., Coughenour, M. B., Swift, D. M., et Sims, P. L. (1996).** Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. *Rangeland Ecology et Management/Journal of Range Management Archives*, 49(5), 386–400.
- Bagnouls, F., & Gaussen, H. (1957).** Les climats biologiques et leur classification. In *Annales de géographie* (Vol. 66, No. 355, pp. 193-220). Armand Colin.
- Banque Mondiale (2021).** Terres arables en hectares par personne. En ligne : <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/AG.LND.ARBL.HA.PC> Visité le 22/04/24
- Baumont R., Aufrère J et Meschy F. (2009).** La valeur alimentaire des fourrages : rôle des pratiques de culture, de récolte et de conservation. *Fourrage*, 198, 153-173.
- Baumont R., Aufrère J., Niderkorn V., Andueza D., Surault F., Peccatte J.-R., Delaby L., Baumont R., Michaud A et Delaby L., (2012).** Services fourragers des prairies

permanentes: production d'herbe et valeur alimentaire pour les ruminants, *Fourrages*, 211, 219-228.

- Belaïd D. (2014).** Remplacer le foin de vesce-avoine par l'ensilage. En ligne : <http://www.djamel-belaïd.fr/fourrages-et-aliment-b%C3%A9tail/vesce-avoine/consulte> le 22.10.2023.
- Belaïd, N. (2010).** Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques (Doctoral dissertation).
- Berauer, B. J., Wilfahrt, P. A., Arfin-Khan, M. A. S., Eibes, P., Von Heßberg, A., Ingrisch, J., Schloter, M., Schuchardt, M. A., et Jentsch, A. (2019).** Low resistance of montane and alpine grasslands to abrupt changes in temperature and precipitation regimes. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 51(1), 215–231.
- Berdugo, M., Delgado-Baquerizo, M., Soliveres, S., Hernández-Clemente, R., Zhao, Y., Gaitán, J. J., Gross, N., Saiz, H., Maire, V., et Lehmann, A. (2020).** Global ecosystem thresholds driven by aridity. *Science*, 367(6479), 787–790.
- Bernard, C. (1855).** *Leçons sur les phénomènes de la vie chez les animaux*. Paris : J.-B. Baillière.
- Besle, J. M., et Jouany, J. P. (1990).** La biomasse pariétale des fourrages et sa valorisation par les herbivores. *INRAE Productions Animales*, 3(1), 39-50.
- Bessaoud O., Pellissier J.-P., Rolland J.-P., Khechimi W (2019).** Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie. [Rapport de recherche] CIHEAM-IAMM. 2019, pp.82. hal-02137632 En ligne : <https://hal.science/hal-02137632/document>.
- Borba, E. L., Semir, J., et Shepherd, G. J. (2001).** Self-incompatibility, Inbreeding Depression and Crossing Potential in Five Brazilian *Pleurothallis* (Orchidaceae) Species. *Annals of Botany*, 88(1), 89-99.
- Boudechiche L., Mebirouk-Boudechiche L., Araba A., Tahar A. et Touati A., (2010).** Valeur alimentaire et composition floristique des prairies permanentes multi espèces : résultats d'une étude conduite au Nord-est algérien.
- Boulot, M. L. (2009).** Écozones, précisions géographiques : En ligne : <https://www.ocean-attitude.com/articles/environnement/59-ecozones-precisions-geographiques>.
- Bourde, A. J. (1967).** Agronomie et agronomes en France au XVIIIe siècle. (*No Title*).
- Bouzida, S., Ghozlane, F., Allane, M., Yakhlef, H., et Abdelguerfi, A. (2010).** Impact du chargement et de la diversification fourragère sur la production des vaches laitières dans la région de Tizi-Ouzou (Algérie). *Fourrages*, 204, 269–275.
- Braun-Blanquet, J. (1951).** Parc national suisse, Zerne et Bernina. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 98(10), 54-58.

- Carter, E. D. (1975).** The potential for increasing cereal and livestock production in Algeria.
- Carvalhais, N., Forkel, M., Khomik, M., Bellarby, J., Jung, M., Migliavacca, M., Saatchi, S., Santoro, M., Thurner, M., et Weber, U. (2014).** Global covariation of carbon turnover times with climate in terrestrial ecosystems. *Nature*, 514(7521), 213–217.
- Castellano, M. J., Mueller, K. E., Olk, D. C., Sawyer, J. E., et Six, J. (2015).** Integrating plant litter quality, soil organic matter stabilization, and the carbon saturation concept. *Global Change Biology*, 21(9), 3200–3209.
- CBNFrance Conservatoire botanique national (2021).** Mais c'est quoi la végétation ? Publication : 13 janvier 2021/ En ligne : <https://www.cbnbrest.fr/observatoire-milieux/cartes-de-repartition/cgtv/carte-des-grands-types-de-vegetation-du-pnr-normandie-maine/types-vegetation-pnrnm> Visité le 1er juin 2024.
- Chabaca, R. (2004).** L'azote des pailles ammoniaquées de *Triticum durum* : valeur et qualité chez *Ovis aries*. Thèse de Doctorat d'état en sciences agronomiques INA El Harrach Algérie, 176p.
- Chabaca, R. (2010).** Elevage des ruminants en méditerranée : Valeur des fourrages algériens, état des lieux et perspectives. Tome 2. 10p.
- Chabaca, R., et Chibani, C. (2010).** Fourrages algériens : 2. Modèles de prédiction de l'ingestion. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 22, Article, 190.
- Chabbi, A., Cellier, P., Rumpel, C., Gastal, F., et Lemaire, G. (2012).** Cycle du carbone et risques environnementaux dans les écosystèmes prairiaux. *Innovations Agronomiques*, 22, 17–30.
- Chabbi, A., et Lemaire, G. (2007).** Rôle des matières organiques des prairies dans le cycle de l'azote et impacts sur la qualité de l'eau. *Fourrages*, 192, 441–452.
- Chapin, F. S., Matson, P. A., Mooney, H. A., et Vitousek, P. M. (2002).** Principles of terrestrial ecosystem ecology.
- Charlet-Levy, G. (1969).** Method for determination of digestibility coefficients of feed for ruminant. Commission on animal nutrition, report 1: 33 p.
- Chellig, R. (1992).** Les races ovines Algériennes, édition OPU Alger, p120.
- Chen, H., Mommer, L., Van Ruijven, J., De Kroon, H., Fischer, C., Gessler, A., Hildebrandt, A., Scherer-Lorenzen, M., Wirth, C., et Weigelt, A. (2017).** Plant species richness negatively affects root decomposition in grasslands. *Journal of Ecology*, 105(1), 209–218.
- Chen, S., Wang, W., Xu, W., Wang, Y., Wan, H., Chen, D., Tang, Z., Tang, X., Zhou, G., et Xie, Z. (2018).** Plant diversity enhances productivity and soil carbon storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(16), 4027–4032.

- Chenost, M., Grenet, E., Demarquilly, C., et Béranger, C. (1985).** Influence of supplementation on herbage digestibility and faeces characteristics with sheep.
- Cheriet, D. (2016).** Etude des bactéries symbiotiques de la luzerne (*Medicago ciliaris* L.) fixatrices d'azote. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar- Anaba, Algérie : 138p.
- Chermiti, A. (1997).** Prédiction de l'ingestion volontaire des fourrages chez les ovins à partir des caractéristiques chimiques et de dégradation ruminale. *Options Méditerranéennes. Série Séminaires*, 34, 37-41.
- Chibani, C., Chabaca, R., et Boulberhane, D. (2010).** Fourrages algériens. 1. Composition chimique et modèles de prédiction de la valeur énergétique et azotée. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 22, Article, 153.
- Chiffaut A, Desbrosses R, Dutoit T, Royer J.M, Volat R (1995).** Les pelouses calcaires de Bourgogne. *Patrimoine naturel de Bourgogne Revue N° 3* ISSN 1240-1609 : 32p.
- Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J., et Doreau, M. (2007).** Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(8), 828–855.
- CIRAD. (2009).** *Mémento de l'agronome* (4e éd.). Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD). ISBN 978-2-87614-731-8.
- Chouinard, P et Drummondville, D. (2000).** Guide des Pratiques de conservation en grandes cultures : Gestion de la matière organique. CPVQ (conseil des productions végétales du Québec). 12p. En ligne. Visité le 31 mars 2023 <https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Feuillet3.pdf>
- Cook, C., et Stubbendieck, J. E. (1986).** Range research: basic problems and techniques.
- Coppa, M., Ferlay, A., Monsallier, F., Verdier-Metz, I., Pradel, P., Didienne, R., Montel, M.-C., Pomies, D., Martin, B., et Farruggia, A. (2012).** Le système de pâturage influence-t-il les caractéristiques nutritionnelles et sensorielles des fromages? *Fourrages*, 209, 33–41.
- Cotrufo, M. F., Ranalli, M. G., Haddix, M. L., Six, J., et Lugato, E. (2019).** Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. *Nature Geoscience*, 12(12), 989–994.
- Cotrufo, M. F., Wallenstein, M. D., Boot, C. M., Denef, K., et Paul, E. (2013).** The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: Do labile plant inputs form stable soil organic matter? *Global Change Biology*, 19(4), 988–995.
- Coupland, J. R., Green, T. S., Hammond, D. P., & Riviere, A. C. (1973).** A study of the ion beam intensity and divergence obtained from a single aperture three electrode extraction system. *Review of Scientific Instruments*, 44(9), 1258-1270.

- Crémer, S. (2014).** Apprendre à reconnaître les principales espèces la flore des prairies. Libramont : Fourrage Mieux, cours. 108p.
- D’Ottavio, P., Francioni, M., Trozzo, L., Sedić, E., Budimir, K., Avanzolini, P., Trombetta, M. F., Porqueddu, C., Santilocchi, R., et Toderi, M. (2018).** Trends and approaches in the analysis of ecosystem services provided by grazing systems: A review. *Grass and Forage Science*, 73(1), 15–25.
- Daget, P., & Poissonet, J. (1971).** Une méthode d'analyse phytologique des prairies: critères d'application.
- Dal Prà, A., Davolio, R., Immovilli, A., Burato, A., et Ronga, D. (2023).** Plant composition and feed value of first cut permanent meadows. *Agronomy*, 13(3), 681.
- Delaby, L., et Peccatte, J. R. (2008).** Valeur alimentaire de foins ventilés issus de prairies multispécifiques. *Fourrages* (195), 354-356.(2008).
- Delagarde, R., Fernandez, A. I. R., et Peyraud, J.-L. (2014).** Caractéristiques des prairies multispécifiques avec ou sans chicorée: densité mesurée à l’herbomètre et composition chimique. *Fourrages*, 218(218), 177–180.
- Delgado-Baquerizo, M., Maestre, F. T., Gallardo, A., Bowker, M. A., Wallenstein, M. D., Quero, J. L., Ochoa, V., Gozalo, B., García-Gómez, M., et Soliveres, S. (2013).** Decoupling of soil nutrient cycles as a function of aridity in global drylands. *Nature*, 502(7473), 672–676.
- Demarquilly, C. (1977).** Fertilisation and quality of forage. French, Journal article, 0429-2766, (No.69), *Fourrages*, (61–84).
- Demarquilly, C., et Andrieu, J. (1992).** Composition chimique, digestibilité et ingestibilité des fourrages européens exploités en vert. *Productions Animales*, 5(3), 213-221.
- Demarquilly, C., et Jarrige, R. (1981).** Panorama des méthodes de prévision de la digestibilité et de la valeur énergétique des fourrages. In *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants* (pp. 41-59). INRA Publ.
- Deng, M., Liu, L., Jiang, L., Liu, W., Wang, X., Li, S., Yang, S., et Wang, B. (2018).** Ecosystem scale trade-off in nitrogen acquisition pathways. *Nature Ecology et Evolution*, 2(11), 1724–1734.
- Dhanoa, M. S., France, J., Crompton, L. A., Mauricio, R. M., Kebreab, E., Mills, J. A. N., et López, S. (2004).** A proposed method to determine the extent of degradation of a feed in the rumen from the degradation profile obtained with the *in vitro* gas production technique using feces as the inoculum. *Journal of animal science*, 82(3), 733-746.
- Dignac, M.-F., Derrien, D., Barré, P., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., Chevallier, T., Freschet, G. T., Garnier, P., et Guenet, B. (2017).** Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 1–27.

- Dixon, A. P., Faber-Langendoen, D., Josse, C., Morrison, J., et Loucks, C. J. (2014).** Distribution mapping of world grassland types. *Journal of Biogeography*, 41(11), 2003–2019. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jbi.12381>.
- DSA., 2019.** Direction des services Agricoles.
- Dobignard, A., & Chatelain, C. (2010-2013).** Index synonymique et bibliographique de la flore d'Afrique du Nord. vol. 1-5. *Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, hors-série 11d*.
- Dulphy, J. P., et Demarquilly, C. (1994).** The regulation and prediction of feed intake in ruminants in relation to feed characteristics. *Livestock Production Science*, 39(1), 1-12.
- Durand, J. L., Andrieu, B., Barillot, R., Barre, P., Combes, D., Enjalbert, J., Escobar-Gutierrez, A., Faverjon, L., Lecarpentier, C., et Litrico, I. (2016).** Designing and improving mixed grasslands: advances made in modelling forage variety performance. *Fourrages*, 225, 21–28.
- Duru, M., Cruz, P., et Theau., J.P. (2008).** Un modèle générique de digestibilité des prairies semées et permanentes pour raisonner les pratiques agricoles. *Revue trimestrielle Fourrages*, 193, 79-102.
- Dury, R. (2006).** A corpus of nineteenth-century business correspondence: Methodology of transcription. In *Business and official correspondence: Historical investigations* (pp. 193-205). Peter Lang.
- Ellenberg, H. and Mueller-Dombois, D. (1967).** A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivision. – *Ber. Geobot. Inst. ETH Stiftung Rübel* 37: 56–73.
- Eurostat, 2017.** Permanent grassland: number of farms and areas by agricultural size of farm (UAA) and size of permanent grassland area.
- Everson, G. T., Emmett, M., Brown, W. R., Redmond, P., et Thickman, D. (1990).** Functional similarities of hepatic cystic and biliary epithelium: studies of fluid constituents and *in vivo* secretion in response to secretin. *Hepatology*, 11(4), 557-565.
- Ewald, J. (2003).** A critique for phytosociology. *Journal of vegetation science*, 14(2), 291-296.
- Fabre, B., et Kockmann, F. (2006).** Les effets du chaulage sur les prairies permanentes ou de longue durée. *Synthèse bibliographique. Fourrages*, (185), 103-122.
- Fages, C. (2015).** La consommation de viande en hausse grâce aux pays émergents. Diffusion: lundi 23 mars 2015.
- FAO. (1999).** World livestock production systems. FAO, Animal Production and Health Paper. FAO Rome Italie. [www, FAO.org / advanced _s_ result, asp](http://www.fao.org/advanced_s_result.asp).
- FAO, 2006.** Sécurité alimentaire. Notes d'orientation Juin n° 2 (disponible à l'adresse suivante [ftp://ftp.fao.org/es/esa/policybriefs/ pb_02_fr.pdf](ftp://ftp.fao.org/es/esa/policybriefs/pb_02_fr.pdf). Consulté en janvier 2024).

- FAO. (2009).** FAOSTAT – Land Cover [WWW Document]. Food and Agriculture Organization of the United Nations\$. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/LC> (consulte 09.10.2023).
- FAO. (2012).** Cadre programmation par pays : Algérie, 120p en ligne : ftp://ftp.fao.org/OSD/CPF/Countries/Algeria/ALG_CPF_2013-2016.pdf.
- FAO. (2014).** La conduite d'évaluations nationales des aliments pour animaux, par Michael B. Coughenour et Harinder P.S. Makkar. Manuel de Production et de santé Animales FAO No. 15. Rome, Italie, 235p.
- FAO. (2021).** Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets. Food Outlook, Appendix table 14 : Total meat statistics pp 68, November 2021. Rome. En ligne: <file:///C:/Users/Aristide/Desktop/Food%20Outlook%20%20Biannual%20Report%20on%20Global%20Food%20Markets,%20November%202021.pdf> Visité le 25/03/24.
- FAO. (2023).** Perspectives de l'alimentation juin 2023. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.fao.org/3/cc6939fr/cc6939fr.pdf>
- Farrié, J. P., Launay, F., et Devun, J. (2012).** Place et utilisation des prairies permanentes dans les élevages en France. Fourrages.
- Farruggia, A., Martin, B., Baumont, R., Prache, S., Doreau, M., Hoste, H., et Durand, D. (2008a).** Quels intérêts de la diversité floristique des prairies permanentes pour les ruminants et les produits animaux? INRAE Productions Animales, 21(2), 181–200.
- Farruggia, A., Martin, B., Baumont, R., Prache, S., Doreau, M., Hoste, H., et Durand, D. (2008b).** Quels intérêts de la diversité floristique des prairies permanentes pour les ruminants et les produits animaux? INRAE Productions Animales, 21(2), 181–200.
- Fischer, C., Leimer, S., Roscher, C., Ravenek, J., de Kroon, H., Kreuziger, Y., Baade, J., Beßler, H., Eisenhauer, N., et Weigelt, A. (2019).** Plant species richness and functional groups have different effects on soil water content in a decade-long grassland experiment. *Journal of Ecology*, 107(1), 127–141.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., et Gibbs, H. K. (2005).** Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570–574.
- FOUCAULT B. de 1986.** La phytosociologie sigmatiste: une morphophysique, Lille, 147 p.
- Fraisse, D., Carnat, A., Viala, D., Pradel, P., Besle, J., Coulon, J., Felgines, C., et Lamaison, J. (2007).** Polyphenolic composition of a permanent pasture: variations related to the period of harvesting. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(13), 2427–2435.
- Gac, A., Dollé, J.B., Le Gall, A., Klumpp, K., et Tallec, T. (2010).** Le stockage de carbone par les prairies : Une voie d'atténuation de l'impact de l'élevage herbivore sur l'effet de serre. Institut de l'Elevage – INRAe. Collection l'Essentiel. hal-02824535 12p.

- Gaffiot, F. (1934).** *Dictionnaire illustré latin-français*. Hachette.
- Gamoun, M., Ouled Belgacem, A., Hanchi, B., et Neffati, M. (2011).** Variations de la diversité floristique en fonction du mode de gestion des parcours arides de la Tunisie méridionale. *Ecologia mediterranea*, 37(2), 33-44.
- Garrido, P., Mårell, A., Öckinger, E., Skarin, A., Jansson, A., et Thulin, C. G. (2019).** Experimental rewilding enhances grassland functional composition and pollinator habitat use. *Journal of Applied Ecology*, 56(4), 946-955.
- Gauly, M., Bollwein, H., Breves, G., Brügemann, K., Dänicke, S., Daş, G., Demeler, J., Hansen, H., Isselstein, J., et König, S. (2013).** Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe—a review. *Animal*, 7(5), 843–859.
- Géhu, J. M. (1979, May).** La phytocoenologie comme outil de définition des secteurs côtiers à préserver. In *Les côtes atlantiques d'Europe, évolution, aménagement, protection, Brest, France, 15-16 mai 1979.*
- Gibson, D. J., et Newman, J. A. (2019).** Grasslands and climate change. Cambridge University Press.
- Giger, S. (1985).** Revue sur les méthodes de dosage de la lignine utilisées en alimentation animale. In *Annales de zootechnie* (Vol. 34, No. 1, pp. 85-122).
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., et Toulmin, C. (2010).** Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818.
- Goodall, D. W. (1952).** Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. *Australian Journal of Biological Sciences*, 5(1), 1.
- Goret T., 2015.** Les prairies permanentes pour de nombreux services. Brochure réalisé par le Projet LIFE prairies bocagères. Ed Natagora, asbl. 9p.
- Gossner, M. M., Lewinsohn, T. M., Kahl, T., Grassein, F., Boch, S., Prati, D., Birkhofer, K., Renner, S. C., Sikorski, J., et Wubet, T. (2016).** Land-use intensification causes multitrophic homogenization of grassland communities. *Nature*, 540(7632), 266–269.
- GREDAAL, (2003).** Eléments clés de la stratégie de développement rural en Algérie <http://www.Gredaal.com> / ressources fourragères en Algérie.
- Guo, L., Deng, M., Yang, S., Liu, W., Wang, X., Wang, J., et Liu, L. (2021).** The coordination between leaf and fine root litter decomposition and the difference in their controlling factors. In *Global Ecology and Biogeography* (Vol. 30. Issue 11, pp. 2286–2296). Wiley Online Library.
- Hadjem, N. (2006).** Evaluation des besoins d'entretien (en énergie et en azote) de la race ovine Ouled Djellal (Doctoral dissertation, INA).

- Hadjsmail, B. (2009).** Caractérisation et formulation d'un bloc multinationnel à base de rebuts de datte et de son de blé pour l'ovin. Mémoire de Master. Sup Agro – Institut des régions chaudes Montpellier, 73 pages.
- Hadjsmail, B. (2015).** Valorisation des rebuts de dattes (*Phoenix dactylifera*, L.) dans des blocs Multi nutritionnels: Formulation, caractérisation physique et valeur alimentaire pour l'ovin. Thèse de Doctorat en sciences agronomiques ENSA El Harrach Algérie, 83p.
- Hanson, F. M. (1934).** Bituminous surface treatment of rural highways.
- Harari, Y. N. (2012).** SAPIENS : Une brève histoire de l'humanité. Pp 117-118, Ed. Albin Michel Paris 499p
- Heller, A. (1995).** Chemistry and applications of photocatalytic oxidation of thin organic films. *Accounts of Chemical Research*, 28(12), 503-508.
- Hobbs, P. R., Sayre, K., et Gupta, R. (2008).** The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 543–555.
- Hoden, A. (1973).** Valeur alimentaire des fourrages pauvres pour les ruminants : Effet de la compltmentation azotte. *Bull. Tech. CRZV Theix, INRA*, 12, 7-11.
- Hofer, D., Suter, M., Haughey, E., Finn, J. A., Hoekstra, N. J., Buchmann, N., et Lüscher, A. (2016).** Yield of temperate forage grassland species is either largely resistant or resilient to experimental summer drought. *Journal of Applied Ecology*, 53(4), 1023–1034.
- Hoover, W. H. (1986).** Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *Journal of Dairy Science*, 69(10), 2755-2766.
- Houmani M, (1997).** Evolution des terres de parcours et bilan fourrager dans les zones arides Algériennes : in : actualité scientifique ; biotechnologie, amélioration des plantes et sécurité alimentaire, collection universités francophones, Ed. ESTEM, Paris, pp 175-176.
- Hubert, F. et Pierre, P. (2009).** Guide pour un diagnostic prairial. 241p.
- Hungate, B. A., Barbier, E. B., Ando, A. W., Marks, S. P., Reich, P. B., Van Gestel, N., Tilman, D., Knops, J. M. H., Hooper, D. U., et Butterfield, B. J. (2017).** The economic value of grassland species for carbon storage. *Science Advances*, 3(4), e1601880.
- Huyghe, C. (2010).** Usages émergents des surfaces prairiales et des espèces fourragères : les messages importants. *Fourrages* (203), 213-219.(2010).
- Huyghe, C., et Delaby, L. (2013).** Prairies et systèmes fourragers : pâturage, ensilage, foin (No. 2e ed., p. np). Editions France Agricole.
- INRA. (1988).** Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins, **Jarrige R, (éd.)**. INRA publications, Paris, 471 pp.

- INRA. (2007b).** Alimentation des bovins, ovins et caprins : Besoins des animaux, valeurs des aliments. Pp. 177. Edition Quae, Versailles, 310p.
- Jannot, P. (2008).** Importance of grasslands with respect to water quality: account taken by public policies.
- Jarrige, R. (1988).** Alimentation des bovins, ovins et caprins.
- Jeangros, B., Troxler, J., Conod, D., Scehovic, J., Bosset, J. O., Bütikofer, U., Gauch, R., Mariaca, R., Pauchard, J. P., et Sieber, R. (1997).** Relations entre les caractéristiques de l'herbe et celles du fromage. Présentation et premiers résultats d'une étude pluridisciplinaire. Fourrages (France).
- Johnston, A. (1957).** A comparison of the line interception, vertical point quadrat, and loop methods as used in measuring basal area of grassland vegetation. *Canadian Journal of Plant Science*, 37(1), 34-42.
- Kadi, S A., Mouhous A., Djellal F., Guermah H., Medjebeurd D et Fernane A. (2017).** Sulla flexuosa (*Hedysarum flexuosum*) : une plante endémique d'intérêt économique à conserver et à valoriser. Séminaire International : SIPA-ICV. 29-30 Octobre 2017 Université Mohamed Boudiaf de M'sila. En ligne : <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/15645/3/Oral%20Int.%2095.pdf> visité le 9 mai, 2021.
- Kadi, SA., Guermah H., Bannelier C., Berchiche M et Gidenne T. (2011).** Nutritive value of sun-dried sulla (*Hedysarum flexuosum*) and its effect on performance and carcass characteristics of growing rabbits. *World Rabbit Sci.*, 19 (3): 151-159.
- Kheddam, M., et Adane, N. (1996).** Contribution à l'étude phytoécologique des mauvaises herbes des cultures pérennes dans la plaine de la Mitidja. 1. Aspect floristique.
- Klein, R. A., Ratliff, K. A., Vianello, M., Adams Jr, R. B., Bahník, Š., Bernstein, M. J., ... et Nosek, B. A. (2014).** Investigating variation in replicability. *Social psychology*.
- Knoden, D., Hautot, M., et Decamps, C. (2016).** Multisite experiments in Belgium examining the production potential and nutritional value of grass-lucerne associations. *Fourrages*, 227, 167–169.
- Kumaresan, R. (1983).** On the zeros of the linear prediction-error filter for deterministic signals. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 31(1), 217-220.
- Laboubée, C. (2007).** Retour au sol des matières organiques nécessaires à leur maintien en état en sols agricoles. GIE ARVALIS/ONIDOL, France.
- Ladjali, R., et Tayeb Bey, A. (2016).** Potentialités fourragères de quelques prairies de Dellys pendant l'hiver et le printemps. Thèse de Master E. N. S. A (Alger), 88p.
- Lange, M., Eisenhauer, N., Sierra, C. A., Bessler, H., Engels, C., Griffiths, R. I., Mellado-Vázquez, P. G., Malik, A. A., Roy, J., et Scheu, S. (2015).** Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature Communications*, 6(1), 6707.

- Lange, M., Koller-France, E., Hildebrandt, A., Oelmann, Y., Wilcke, W., et Gleixner, G. (2019).** How plant diversity impacts the coupled water, nutrient and carbon cycles. In *Advances in ecological research* (Vol. 61, pp. 185–219). Elsevier.
- Lavallee, J. M., Soong, J. L., et Cotrufo, M. F. (2020).** Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Global Change Biology*, 26(1), 261–273.
- Le Quéré, C., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Sitch, S., Korsbakken, J. I., Peters, G. P., Manning, A. C., Boden, T. A., Tans, P. P., et Houghton, R. A. (2016).** Global carbon budget 2016. *Earth System Science Data*, 8(2), 605–649.
- Lee, J. M., Hemmingson, N. R., Minnee, E. M. K., et Clark, C. E. F. (2015).** Management strategies for chicory (*Cichorium intybus*) and plantain (*Plantago lanceolata*): impact on dry matter yield, nutritive characteristics and plant density. *Crop and Pasture Science*, 66(2), 168–183.
- Lehmann, J., et Kleber, M. (2015).** The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60–68.
- Lemaire, G., et Pflimlin, A. (2007).** Interactions entre systèmes fourragers et systèmes de grandes cultures à l'échelle d'un territoire. Intérêts pour l'environnement. *Fourrages*, 189, 19–32.
- Lemaire, G., Franzluebbers, A., de Faccio Carvalho, P. C., et Dedieu, B. (2014).** Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems et Environment*, 190, 4–8.
- Li, Q., Yu, P., Li, G., et Zhou, D. (2016).** Grass–legume ratio can change soil carbon and nitrogen storage in a temperate steppe grassland. *Soil and Tillage Research*, 157, 23–31.
- Limbourg, P. (1997).** Les Prairies permanentes–Gestion des pâturages. CRA-W, Section Systèmes Agricoles. 24p.
- Liu, L., Sayer, E. J., Deng, M., Li, P., Liu, W., Wang, X., Yang, S., Huang, J., Luo, J., et Su, Y. (2023).** The grassland carbon cycle: Mechanisms, responses to global changes, and potential contribution to carbon neutrality. *Fundamental Research*, 3(2), 209–218.
- INED. (2022).** Projections par Pays- Projections mondiales. Institut national d'études démographiques. nEn ligne : <https://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/chiffres/projections-mondiales/projections-par-pays/> Visité le 19-03-24
- Lochon, I. (2018).** Effets du chaulage sur le fonctionnement de l'écosystème prairial en moyenne montagne. Thèse de Doctorat en Sciences agricoles. Université Clermont Auvergne, 239p.
- Lykkesfeldt, J., et Svendsen, O. (2007).** Oxidants and antioxidants in disease: oxidative stress in farm animals. *The Veterinary Journal*, 173(3), 502–511.
- Maciejewski, J., et Osson, B. (2015).** Productions fourragères. Edit, Lavoisier, Paris. 192.

- MADR, (2007).** Ministère de l'agriculture et du développement rural : Statistiques Agricoles Série B Alger, Algérie
- MADR, (2012).** Le Renouveau Agricole et Rural en marche Revue et Perspectives, disponible en ligne : http://www.minagri.dz/pdf/Divers/Juillet/LE_RAR-FR.pdf .
- MADR, (2019).** Ministère de l'agriculture et de Développement Rural, Statistiques agricoles série B.
- MADR, (2020).** Ministère de l'agriculture et de Développement Rural, Statistiques agricoles série B.
- Mannetje, L. T. (2002).** Global Issues of Rangeland Management.
- Marcel, B. et Taïeb, J. (2019).** Chapitre 1. Regards sur la croissance de l'après-guerre. In : B. Marcel et J. Taïeb (Dir), Les grandes crises: 1873 - 1929 - 1973 - 2008 (pp. 5-19). 312p. Paris: Dunod.
- Martin, B., Graulet, B., Uittewaal, A., Ferlay, A., Coppa, M., et Rémond, D. (2019).** Contribution des produits laitiers aux apports nutritionnels selon la nature des fourrages distribués aux vaches laitières. *Fourrages*, 239, 193–202.
- Martin, H. A. (2006).** Cenozoic climatic change and the development of the arid vegetation in Australia. *Journal of Arid Environments*, 66(3), 533–563.
- Martin, H. A., et McMinn, A. (1994).** Late Cainozoic vegetation history of north-western Australia, from the palynology of a deep-sea core (ODP Site 765). *Australian Journal of Botany*, 42(1), 95–102.
- Mathew, I., Shimelis, H., Mutema, M., et Chaplot, V. (2017).** What crop type for atmospheric carbon sequestration: Results from a global data analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 243, 34–46.
- Mayouf F. et Meziane F. 2015.** Valeur de complémentation de différents concentrés pour un foin de sorgho. Mémoire de Master ; Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach-Alger, 40p.
- McDougall, E. I. (1948).** Studies on ruminant saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. *Biochemical journal*, 43(1), 99.
- McLauchlan, K. K. (2006).** Effects of soil texture on soil carbon and nitrogen dynamics after cessation of agriculture. *Geoderma*, 136(1–2), 289–299.
- Mebirouk-Boudechiche, L., Boudechiche, L., Touati, A., Tahar, A., et Araba, A. (2010).** Valeur alimentaire et composition floristique des prairies permanentes multi espèces : résultats d'une étude conduite au Nord-est algérien. *Livestock Research for Rural Development*, 22(8).
- Meddour, R. (2011).** La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-blanquetotüxenienne. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie.

- Mehrez, A. Z., & Ørskov, E. R. (1977).** A study of artificial fibre bag technique for determining the dig estibility of feeds in the rumen. *The Journal of Agricultural Science*, 88(3), 645–650. doi:10.1017/S0021859600037321
- Meilhac, J., Durand, J.-L., Beguier, V., et Litrico, I. (2019).** Increasing the benefits of species diversity in multispecies temporary grasslands by increasing within-species diversity. *Annals of Botany*, 123(5), 891–900.
- Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., & Schneider, W. (1979).** The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *The Journal of Agricultural Science*, 93(1), 217–222. doi:10.1017/S0021859600086305
- Mesbahi, G. (2020).** Prédiction de propriétés agroécologiques de prairies permanentes et de leurs compromis : l'exemple du massif vosgien (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- Meuret, M., Bartiaux-Thill, N., Bourbouze, A., Rosenberger, S., Vernerey, M., Sourbier, Y., Ninane, V., Trojan, M., Trojan, M., et Rouchy, N. (1985).** Evaluation de la consommation d'un troupeau de chèvres laitières sur parcours forestier—Méthode d'observation directe des coups de dents—Méthode du marqueur oxyde de chrome. *Annales de Zootechnie*, 34(2), 159–180.
- Michaud, A., Plantureux, S., Baumont, R., et Delaby, L. (2020).** Les prairies, une richesse et un support d'innovation pour des élevages de ruminants plus durables et acceptables. *INRAE Productions Animales*, 33(3), 153–172.
- Minson, D. J., Raymond, W. F., et Harris, C. E. (1960).** STUDIES IN THE DIGESTIBILITY OF HERBAGE: VIII. The digestibility of S 37 cocksfoot, S 23 ryegrass and S 24 ryegrass. *Grass and Forage Science*, 15(2), 174-180.
- Minson, D.J. et MacLeod, M.N. (1972).** The *in vitro* technique: Its modification for estimating digestibility of large numbers of tropical pasture samples. Div. Trop. Past. Tech. Paper, 8, CSIRO, Australia.
- Monger, H. C., Kraimer, R. A., Khresat, S., Cole, D. R., Wang, X., et Wang, J. (2015).** Sequestration of inorganic carbon in soil and groundwater. *Geology*, 43(5), 375–378.
- Montanarella, L., Badraoui, M., Chude, V., Baptista Costa, I. D. S., Mamo, T., Yemefack, M., Singh Aulakh, M., Yagi, K., Young Hong, S., et Vijarnsorn, P. (2015).** Status of the world's soil resources Main Report.
- Moskal K, (1983).** Essai d'évaluation du bilan fourrager en Algérie du nord, Etude réalisée dans le cadre du module : développement de l'élevage dans les différentes zones écologiques. Institut National Agronomique, Alger.
- Mulligan, F. J., et Doherty, M. L. (2008).** Production diseases of the transition cow. *The Veterinary Journal*, 176(1), 3–9.

- National Research Council. (2001).** *Nutrient requirements of dairy cattle: Seventh revised edition* (pp. 43-55). Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition. National Academies Press.
- Nedjraoui, D. (2003).** Profil fourrager d'Algérie. Document FAO. Neumann CG, Bwibo NO, Murphy SP. 30 p.
- OCDE-FAO. (2021).** Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2021-2030
- OCDE-FAO. (2023).** Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2023-2032. Chapitre 6. Viande, pp 205-224. Éditions OCDE, 389 P, Paris <https://doi.org/10.1787/a187ca6c-fr>.
- Olson, P. D., Littlewood, D. T. J., Bray, R. A., et Mariaux, J. (2001).** Interrelationships and evolution of the tapeworms (Platyhelminthes: Cestoda). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 19(3), 443-467.
- Oram, N. J., Ravenek, J. M., Barry, K. E., Weigelt, A., Chen, H., Gessler, A., Gockele, A., de Kroon, H., van der Paauw, J. W., et Scherer-Lorenzen, M. (2018).** Below-ground complementarity effects in a grassland biodiversity experiment are related to deep-rooting species. *Journal of Ecology*, 106(1), 265–277.
- Ortolang. (2015).** Outils et ressources pour un traitement optimisé de la LANGue : www.ortolang.fr
- Ostlie, D. A., et Carroll, B. W. (1996).** An introduction to modern stellar astrophysics.
- Peyraud, J.-L., Peeters, A., et De Vlieghe, A. (2012).** Place et atouts des prairies permanentes en France et en Europe. *Fourrages*, 211, 195–204.
- Polle, A., Otter, T., et Mehnejakobs, B. (1994).** Effect of magnesium-deficiency on antioxidative systems in needles of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] grown with different ratios of nitrate and ammonium as nitrogen sources. *New phytologist*, 128(4), 621-628.
- Pottier, J., et Jabot, F. (2017).** Non-destructive biomass estimation of herbaceous plant individuals: a transferable method between contrasted environments. *Ecological Indicators*, 72, 769–776.
- Poutaraud, A., Michelot-Antalik, A., et Plantureux, S. (2017).** Grasslands: a source of secondary metabolites for livestock health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(31), 6535–6553.
- Rabehi, W., Bentekhici, N., Bouhlala, M. A., Benharrats, F., Zegrar, A., Rahli, H. S., ... et Benhamouda, F. (2020).** Monitoring And Estimation of The Sustainable Development Goal–Fifteen-By Remote Sensing Tools, Assessment of Change in Land Cover (Sub-Indicator 15.3. 1), Case of Algeria. In *2020 Mediterranean and Middle-East Geoscience and Remote Sensing Symposium (M2GARSS)* (pp. 239-241). IEEE.

- Rami, H., Chibani-Khetib, C., Medjadbi, M., et Chabaca, R. (2021).** Contribution à l'étude de la valeur fourragère des prairies permanentes algériennes. Caractérisation botanique et agronomique en région centre. *Livestock Research for Rural Development*. 33 (7).
- Rast, M., et Painter, T. H. (2019).** Earth observation imaging spectroscopy for terrestrial systems: An overview of its history, techniques, and applications of its missions. *Surveys in Geophysics*, 40(3), 303–331.
- Reinermann, S., Asam, S., et Kuenzer, C. (2020).** Remote sensing of grassland production and management—A review. *Remote Sensing*, 12(12), 1949.
- Rodrigues, M. L., Oliveira, T. F., Pereira, I. A., et Archer, M. (2006).** X-ray structure of the membrane-bound cytochrome c quinol dehydrogenase NrfH reveals novel haem coordination. *The EMBO journal*, 25(24), 5951-5960.
- Ronga, D., Pentangelo, A., et Parisi, M. (2020).** Optimizing N fertilization to improve yield, technological and nutritional quality of tomato grown in high fertility soil conditions. *Plants*, 9(5), 575.
- Saha M.C. et Butler T.J. (2017).** Grassland, *Encyclopedia of Applied Plant Sciences* (Second Edition). Oxford: Academic Press. 180-185.
- Salhi, H. (2013).** Valeur nutritive des espèces spontanées de la plaine du moyen Chelif (Doctoral dissertation, BENSALIM Ahmed).
- Salhi, H., Meziane, M., Noura, A., Ali-Benamara, A., et Bensaid, A. (2019).** Evaluation du potentiel fourragère des végétations de friche dans cinq localités de Chlef (Algérie). *Fourrages*, 237, 95-100.
- SAS (2017).** SAS Enterprise's Guide. SAS : Cary, NC, USA.
- Sasaki, T., Lu, X., Hirota, M., et Bai, Y. (2019).** Species asynchrony and response diversity determine multifunctional stability of natural grasslands. *Journal of Ecology*, 107(4), 1862–1875.
- Schauer, C. S., Bohnert, D. W., Ganskopp, D. C., Richards, C. J., et Falck, S. J. (2005).** Influence of protein supplementation frequency on cows consuming low-quality forage: Performance, grazing behavior, and variation in supplement intake. *Journal of Animal Science*, 83(7), 1715–1725.
- Schechtner, G. (1958).** Grassland sociological botanical analysis by means of percentage-area estimation.
- Schmidt, M. W. I., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I. A., Kleber, M., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., et Manning, D. A. C. (2011).** Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478(7367), 49–56.
- Scoupe, M. (2011).** Composition floristique et diversité de la végétation de la zone Est du Parc National de Taï (Côte d'Ivoire). Thèse Université de Genève. 194 pp.

- Semsar, S., Akkache, S., Slimani, O., Amrane, R., et Aired, S. (2008).** Etablissement des équations de prévision de la composition chimique et de la digestibilité des fourrages cultivées dans la région de Kabylie (Algérie). Establishment of equations of forecasting of the chemical composition and the digestibility of fodders cultivated in the region of Kabylie (Algeria).
- Soest, P. V., et Wine, R. H. (1967).** Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 50(1), 50-55.
- Soltner, D. (1999).** *Le sol et son amélioration* (2e éd., 304 p.). Collection Sciences et techniques agricoles.
- Song, X.-D., Yang, F., Wu, H.-Y., Zhang, J., Li, D.-C., Liu, F., Zhao, Y.-G., Yang, J.-L., Ju, B., et Cai, C.-F. (2022).** Significant loss of soil inorganic carbon at the continental scale. *National Science Review*, 9(2), nwab120.
- Soussana, J.-F., et Lemaire, G. (2014).** Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems et Environment*, 190. 9–17.
- S-Plus Statistics (1998).** 4-5^e édition, Tokyo.
- Steinfeld, H., et Mäki-Hokkonen, J. (1995).** A classification of livestock production systems. *World Animal Review*, 83-94.
- Stoll-Kleemann, S., et O’Riordan, T. (2015).** The sustainability challenges of our meat and dairy diets. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 57(3), 34–48.
- Sutter, L., Jeanneret, P., Bartual, A. M., Bocci, G., et Albrecht, M. (2017).** Enhancing plant diversity in agricultural landscapes promotes both rare bees and dominant crop-pollinating bees through complementary increase in key floral resources. *Journal of Applied Ecology*, 54(6), 1856–1864.
- Suttie, J. M., Reynolds, S. G., et Batello, C. (2005).** *Grasslands of the World* (Issue 34). Food et Agriculture Org.
- Tbib A., Chaieb M (2004).** La mise en défense des parcours en zones arides : avantages écologiques et obstacles socio-économiques : in Ferchichi A. (comp.), Ferchichi A. (collab.) : Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens Zaragoza : CIHEAM, Cahiers Options Méditerranéennes; N°. 62 ; 2004, pp 473-476.
- Theau, J. P., Cruz, P., Fallour, D., Jouany, C., Lecloux, E., et Duru, M. (2010).** Une méthode simplifiée de relevé botanique pour une caractérisation agronomique des prairies permanentes. *Fourrages*, 201, 19-25.
- Theau, J.-P., et Choisis, J.-P. (2016).** Prairie permanente. *Dictionnaire d’Agroécologie*.

- Tilley, J. M. A., & Terry, D. R. (1963).** A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and forage science*, 18(2), 104-111.
- Tisserand, J. L., Zelter, S. Z., Dumay, C., et Saint-Priest, M. D. (1965).** Essai de normalisation d'une technique de mesure de la digestion des fourrages *in vitro* ("rumen artificiel"). In *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique* (Vol. 5, No. 1, pp. 101-111). EDP Sciences.
- Tothill, J. C., Hargreaves, J. N. G., Jones, R. M., et McDonald, C. K. (1992).** BOTANAL-a comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. 1. Field sampling. *Tropical Agronomy Technical Memorandum*, 78(24).
- Totty, V. K., Greenwood, S. L., Bryant, R. H., et Edwards, G. R. (2013).** Nitrogen partitioning and milk production of dairy cows grazing simple and diverse pastures. *Journal of Dairy Science*, 96(1), 141–149.
- Transon, J., d'Andrimont, R., Maignard, A., et Defourny, P. (2018).** Survey of hyperspectral earth observation applications from space in the sentinel-2 context. *Remote Sensing*, 10(2), 157.
- Traxler, F. (1999).** The state in industrial relations: A cross-national analysis of developments and socioeconomic effects. *European Journal of Political Research*, 36(1), 55-85.
- Triki, S. (1988).** Etude comparative de l'efficacité de deux méthodes de traitement de la paille de blé à l'ammoniac : Essai d'introduction dans l'alimentation de génisses en croissance. Thèse de Magister INA El Harrach Algérie, 114p.
- Triki, S. (2003).** Recherche sur les besoins en énergie et en azote des ovins algériens de race Ouled-Djellal : Validation zootechnique. Thèse de Doctorat d'état Institut National Agronomique : El Harrach, 131P.
- Tuba, Z., et Kaligarič, M. (2008).** Grassland ecology in changing climate and land use. *Community Ecology*, 9(Supplement-1), 3–12.
- UA. (2010).** Policy framework for pastoralism in Africa: Securing, Protecting and Improving the Lives, Livelihoods and Rights of Pastoralist Communities. Union Africaine. Addis Ababa, Ethiopia 44p.
- USDA. (1975).** *Soil taxononzy*. Soil survey staff. SCS Washington DC.
- Udvardy, M. D. F. (1975).** A Classification of the Biogeographical Provinces of the World. Paper No. 18. IUCN, Morges, 50 p. Suisse
- Valk, H. (1994).** Effects of partial replacement of herbage by maize silage on Nutilization and milk production of dairy cows. *Livestock Production Science*, 40(3), 241-250.
- Van Der Heijden, M. G. A., Bardgett, R. D., et Van Straalen, N. M. (2008).** The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11(3), 296–310.

- Van Soest, P. J. (1963).** Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*, 46(5), 829–835. <https://doi.org/10.1093/jaoac/46.5.829>
- Van Soest, P. J., & Wine, R. H. (1968).** Determination of lignin and cellulose in acid-detergent fiber with permanganate. *Journal of the association of official analytical chemists*, 51(4), 780-785.
- Velthof, G. L., Lesschen, J. P., Webb, J., Pietrzak, S., Miatkowski, Z., Pinto, M., ... et Oenema, O. (2014).** The impact of the Nitrates Directive on nitrogen emissions from agriculture in the EU-27 during 2000–2008. *Science of the Total Environment*, 468, 1225-1233.
- Vignau-Loustau, L., et Huyghe, C. (2008).** *Stratégies fourragères*. France Agricole Editions.
- Von Weckherlin, A., & Verheyen, P. J. S. (1857).** *Zootechnie générale: reproduction, amélioration et élevage des animaux domestiques*. Librairie Agricole d'Emile Tarlier.
- Vries, D. D., et Boer, T. D. (1959).** Methods used in botanical grassland research in the Netherlands and their application, *Herbage Abstracts*, 29, 1.
- Waghorn, G. C., Shelton, I. D., McNabb, W. C., et McCutcheon, S. N. (1994).** Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 2. Nitrogenous aspects. *The journal of agricultural science*, 123(1), 109-119.
- Welch, R. M. (1986).** Effects of nutrient deficiencies on seed production and quality.
- West, P. C., Gerber, J. S., Engstrom, P. M., Mueller, N. D., Brauman, K. A., Carlson, K. M., Cassidy, E. S., Johnston, M., MacDonald, G. K., et Ray, D. K. (2014).** Leverage points for improving global food security and the environment. *Science*, 345(6194), 325–328.
- Wickens, G. E. (1998).** *Ecophysiology of Economic Plants in Arid and Semi-Arid Lands Adaptations of Desert Organisms*, Springer Science et Business Media, coll. « Topics in Applied Physics », 343 p.
- Wickens, G. E. (2013).** *Ecophysiology of economic plants in arid and semi-arid lands*. Springer Science et Business Media.
- Wilson, R. P. (1985).** The Jackass Penguin (*Spheniscus demersus*) as a pelagic predator. *Marine Ecology Progress Series*, 219-227.
- Woodward, S. L., Waugh, C. D., Roach, C. G., Fynn, D., et Phillips, J. (2013).** Are diverse species mixtures better pastures for dairy farming? *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 79–84.
- Yahiaoui, A. (1992).** Enquête dans la région de Tiaret sur le système traditionnel de l'élevage ovin. Thèse de Magister INA El Harrach Algérie, 75p.

- Yahiaoui, A. (2011).** Capital nutritionnel pour *Ovis aries* de différents supports alimentaires en zones agro-pastorales de l'ouest Algérien. These de Doctorat ENSA. 130p.
- Yang, Y., Shi, Y., Sun, W., Chang, J., Zhu, J., Chen, L., Wang, X., Guo, Y., Zhang, H., et Yu, L. (2022).** Terrestrial carbon sinks in China and around the world and their contribution to carbon neutrality. *Science China Life Sciences*, 65(5), 861–895.
- Yang, Y., Tilman, D., Furey, G., et Lehman, C. (2019).** Soil carbon sequestration accelerated by restoration of grassland biodiversity. *Nature Communications*, 10(1), 718.
- Zamanian, K., Pustovoytov, K., et Kuzyakov, Y. (2016).** Pedogenic carbonates: Forms and formation processes. *Earth-Science Reviews*, 157, 1–17.
- Zamanian, K., Zhou, J., et Kuzyakov, Y. (2021).** Soil carbonates: The unaccounted, irrecoverable carbon source. *Geoderma*, 384, 114817.
- Zeidane, K. (2021).** Pouvoir d'achat : les Algériens sont les citoyens arabes qui consomment le moins de viande, après les Yéménites. *Le 360 Afrique* du 16/11/2021, en ligne : <https://afrique.le360.ma/algerie/societe/2021/11/16/36042-pouvoir-dachat-les-algeriens-sont-les-citoyens-arabes-qui-consomment-le-moins-de-viande-apres-les/> Visité le 4/04 :24.
- Zirmi-Zembri, N., et Kadi, S. A. (2020).** Chemical Composition and Nutritive Value of Different Morphological Parts of *Hedysarum flexuosum* L. Harvested at Different Phaenological Stages. *J. Fundam. Appl. Sci.*, 2020. 12 (1S), 89-107.

Annexes

Annexes

Annexe 1. Nature des ressources fourragères en Algérie et positionnement géographique (sources : synthèse Nedjraoui, 2003)

Supports alimentaires	Étages climatiques				
	Humide (1)	Subhumide (2)	Semi-aride (3)	Aride (4)	Saharien (5)
Sous forêt	+	+	+		
Jachère	+	+	+		
Parcours et pacages			+	+	
Chaumes de céréales	+	+	+		
Paille	+	+	+		
Cultures fourragères	+	+	+		
Prairies naturelles (PP)	+	+			
Terres improductives					+

; RNRGA, 2003, MADR, 2007)

(1) humide : > 800mm ; (2) subhumide : 800-600mm ; (3) semi-aride : 600-400mm ; (4) aride : 400-100 s'échelonne entre étage supérieur (400-300mm), moyen (300-200mm), inférieur (200-100mm) ; (5) Saharien : < 100mm. A 300 mm, des cultures de céréales sont pratiquées.

Annexe 2. Répartition des terres (millions ha) et ressources fourragères en Algérie.

Types de support	Surfaces	Localisation	Définition	UF/ha/an
Surface agricole utile	8.3	Sauf Sahara	Terre arable + surfaces toujours en herbes + cultures pérennes	-
Forêts	4.2	Humide ; subhumide ; semi- aride	Forêt naturelle, les maquis et les broussailles, les pelouses, les reboisements	150
Prairie naturelle	0.18	Humide et subhumide	Définie comme : la prairie naturelle (140000 ha ; 8qx/ha) plus la jachère fauchée (40.000 ha ; 4qx/ha) ces deux entités sont réunies sous le terme de « fourrages naturels » par les auteurs	180
Parcours et pacages	31.0	Semi-aride ; aride	Terres ne recevant aucune façon culturale depuis au moins cinq ans. Elles n'entrent pas dans un assolement. Délaissées au gré de la nature, elles portent une végétation spontanée qui sert au pacage des animaux : steppe, parcours sahara, etc.	100
Chaumes de céréales	3.5	Subhumide ; semi-aride	Résidus de récolte après récupération des pailles : reste paille, épis, grains	320
Jachère pâturée	2,9	Humide ; subhumide ; semi-aride	Terre céréalière au repos non labourée et servant de pâture aux animaux	250
Fourrages cultivés	0.494	Humide ; subhumide ; semi-aride	Plantes cultivées (Graminées et Légumineuses fourragères ; céréales fourragères...) destinées à l'alimentation des animaux. 70% consommés en sec dont le seul foin de vesce - avoine	1065
Terres improductives	191.3	Essentiellement le Sahara	80% du territoire algérien, domaine des ergs, regs et hamadas	50

Annexe 3. Principe et signification des méthodes de d'analyse de la composition chimique des aliments du bétail utilisées dans le monde (Chibani, 2013)

Analyse	Méthode et principe	Avantages	Inconvénients	Auteurs
Matière sèche	C'est le résidu qui reste après dessiccation d'un échantillon d'aliment dans une étuve réglé à $103^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ après 24h.	Permet de rapporter tous les autres nutriments sur la base de la MS. Meilleure comparaison des aliments et formulation de rations.	-	Sauvant (1988) Ball et al. (2001)
Les cendres	Résidu obtenu après incinération à $550\pm 10^{\circ}\text{C}$ pendant 6 heures.	Permet l'évaluation de la MO de l'aliment.	Pas de signification pour raisonner l'alimentation minérale des animaux (P, Ca, Mg, etc), il faut des dosages spécifiques.	-
Les matières azotées	L'azote total est dosé par la méthode Kjeldahl (1883) . L'azote organique est minéralisé par l'acide sulfurique, l'azote ammoniacal formé est déplacé par la soude et dosé par titrimétrie. Ce dernier multiplié par 6.25 donne les MAT.	-	Elle ne permet pas le dosage direct des nitrates, nitrites, nitrosyles, cyanures qu'il faut d'abord réduire en ammoniac.	-
Extrait éthéré ou matière grasses brutes.	Correspond aux substances extraites sous reflux par de l'éther éthylique (ébullition à 35°C) et plus récemment l'hexane ou l'éther de pétrole ($55-65^{\circ}\text{C}$).	-	L'extrait ne comporte pas la totalité des lipides et renferme des substances non lipidiques solubles dans le solvant. Cet extrait est à prendre avec réserve pour les fourrages car, il est constitué pour moitié de pigments.	Sauvant (1988)