



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## **Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTE : SCIENCES**

**DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES**

### **MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : KERKABI Aïcha**

**DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)**

**FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES**

**OPTION : AMÉLIORATION DES PLANTES**

### **Thème**

**Evaluation des pertes mécaniques à la récolte du foin de la luzerne cultivée (*Medicago sativa* L.) dans une région aride de la wilaya de Laghouat**

#### **Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
MAKOUDI Mourad	MAA	Président
OUAISSA Nadjjet	MAA	Examinatrice
HATTAB Mourad	MCA	Encadreur



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

### MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : KERKABI Aïcha

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : AMÉLIORATION DES PLANTES

### Thème

**Evaluation des pertes mécaniques à la récolte du foin de la luzerne cultivée (*Medicago sativa* L.) dans une région aride de la wilaya de Laghouat**

#### Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
MAKOUDI Mourad	MAA	Président
OUAISSA Nadjet	MAA	Examinatrice
HATTAB Mourad	MCA	Encadreur

## Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu qui m'a donné la volonté et le courage pour élaborer ce travail.

Je ne peux pas passer cette étape importante de ma vie sans prendre un moment pour dire merci à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Je commence par remercier **M. HATTAB Mourad**, mon encadrant.

Honnêtement, ses conseils ont toujours été clairs, et sa patience face à mes nombreuses questions mérite toute ma reconnaissance. J'ai appris bien plus que je ne l'imaginais, que ce soit sur le plan méthodologique ou humain. Un grand merci à lui.

Mes remerciements vont également à **M. MAKOUDI Mourad**, d'avoir accepté de présider le jury, ainsi qu'à **Mme OUAISSA Nadjjet**, d'avoir accepté d'examiner et faire partie du jury de soutenance.

Je tiens aussi à remercier **M. BENCHETTOUH Ahmed**, toujours présent avec un mot d'encouragement ou un conseil utile. Sa contribution m'a vraiment aidée à élargir ma vision du sujet.

Je n'oublie pas tous les enseignants du Département des Sciences Agronomiques. Chacun, à sa manière, a marqué mon parcours. Leurs cours, leurs remarques, et même leurs discussions informelles ont eu un réel impact sur ma formation.

Enfin, je remercie sincèrement le **Haut-Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS)** de la wilaya de Djelfa, pour m'avoir aidé à faire des analyses au sein de leur laboratoire.

Merci, tout simplement, à chacun d'entre vous.

## إهداء التخرج

بسم الله الذي بنوره نهتدي، وبحمده تكتمل النعم، وبتوفيقه تُقطف ثمار السعي.  
الحمد لله حتى يبلغ الحمد منتهاه، على نعمٍ لا تُعد، وعطاءٍ فاق التوقع.  
سنوات مضت مثقلة بالقلق والدعاء، وها أنا أصل اليوم، لا طلباً لمجدٍ أو تصفيق، بل كي لا أفقد نفسي في منتصف الطريق.  
كانت الرحلة شاقة، لكنها أزهرت حلماً، وتحول التعب فيها إلى وسامٍ على قلبي.  
هذا التخرج ليس ورقة، بل قصة صبرٍ، وسجدةٍ، وأملٍ لم ينكسر.  
فرحٌ يملأ القلب، وتغمره دموع الامتنان، يسبقني إليه من رحلوا، ويكتمل بمن بقوا.  
اللهم لك الحمد كما ينبغي لجلال وجهك وعظيم سلطانك ...

إلى والدي العزيز...

إلى من ارتبط اسمه عزاً باسمي، وإلى من غرس بداخلي القوة لأبحر في هذه الحياة.  
ها أنا اليوم أهدي تخرجي لبطل ابنته، أبي الحبيب. كم من ليلة كافحت فيها لنصل إلى أحلامنا؟ وكم من شوكة أزلت من طريقنا لتركض بأمان نحو أهدافنا التي لطالما شجعتنا للوصول إليها؟  
كنت لنا السند الداعم دائماً، كلما شعرت باليأس أتذكر كلامك الذي اعتدت على استمداد القوة منه وهو يتردد في ذهني :  
"كلي ثقة بك، أنا متأكد من قدرات ابنتي."  
لأعواد النهوض من جديد بكل عزم وكفاح، أدامك الله سنداً نفخر به ومأمناً نلتجئ إليه، حفظك الله يا حبيب ابنتك وعزوتها.

إلى أمي الحبيبة...

إلى من كانت اليد الحانية التي تحمل همومي وتطبطب على قلبي، إلى أمي التي علمتني الصبر والإصرار، التي كانت ولا تزال ملهمتي في كل خطواتي.  
أنت أول من دعا لي، وأنت أول من دفعني نحو النجاح بكل حب وعطاء.  
أهدي لك هذا التخرج لأنه ليس فقط ثمرة تعبي، بل ثمرة جهدك المستمر وصبرك اللامتناهي.

إلى إخواني العزيزات

هدى، نسرين، خديجة، بثينة.....

أنتم السند الذي لا يميل، والنور الذي لا ينطفئ، رفاق دربي الذين لا يعوضهم الزمن.  
لكم الفضل في كل ما وصلت إليه، وإلى كل نجاح حققته.

إلى محمد، فخري الصغير...

يا من كنت أراك تكبر أمام عيني، فأكبر بك.

أنت لست مجرد أخ، بل أنت القلب الآخر لي، الطفل الذي صار رجلاً يحمل في عينيه بريق المستقبل.

كنت دائماً تنتظر إليّ بإعجاب، دون أن تدري أنني أنا من أفتخر بك أكثر.

أهديك هذا التخرج يا صغيري لأنك كنت فرحتي في كل لحظة، ودعوتي الذي لا يُقال، بل يُشعر.  
كبرت معي، وها أنا أنجز جزءاً من أحلامنا، وكلّي شوق أن أراك تحقق أحلامك أنت أيضاً.

دمت جميعاً منبع قوتي ودعوتي.

إلى جدتي عائشة حفظها الله...

أنت الدعاء الحي، والنور الذي لا ينطفئ، كم من مرة احتضنتني صوتك بدعواتك الصادقة،

فكان ما في قلبي يهدأ، وما في طريقي يتيسر.

إلى جدتي خديجة رحمها الله...

ما غبتي عن قلبي لحظة، كنت وما زلتِ فصلاً من فصول الحنان في ذاكرتي،

كل إنجاز لي هو امتداد لبركتك، وصدقك، وعطائك.

إلى أعمامي الكرام،

فخرُ النسب، وسندُ المسير... وجودكم حولي قوة لا تُقدَّر، ومحبتكم ظل طيب تربيته فيه. هذا التخرج ثمرة تربية في بيتٍ كريم، وأصلٍ عريق أنتمي إليه بكل فخر.

وإلى عمتي الغالية،  
الحنان في حضوره، والدعاء في غيابه... كنتِ دوماً الحُسن الدافئ، والنور في عتمة الأيام. لولاكِ بعد الله، لما أدركتُ كم في داخلي من قوة.

إلى خوالي الكرام،  
كنتم السند في صمت، والحنان وقت الحاجة، والأمان حين اشتدت الأيام. تخرجي هذا ثمرة من دفتكم ومحبتكم الصادقة.

وإلى خالاتي العزيزات،  
يا نبع الحنان، ورفيقات القلب... كنتن دوماً أمهاتٍ وأخواتٍ في أن، بدعائكن ومحبتكن كبر الحلم وازدهر.

إلى عائلتي الكريمة كركابي وبومريزيقة...  
أنتم الأصل والامتداد، أنتم المعنى الكامل للعائلة الدافئة والمحبة النبيلة،  
لكم أقدم هذا التخرج عربون وفاء، ومحبة، وامتنان لا يزول.  
إلى صديقتي الغالية شيما...  
كنتِ النور في عتمتي، والسند في ضعفي، والمرفاً في كل حيرة.  
شكراً لوجودكِ الدائم، لقلبي، ودعائكِ... فأنتِ جزء لا يتجزأ من هذا النجاح.

إلى كل من ساندني بكلمة، أو بدعوة، أو بمحبة...  
شكراً من القلب، فنجاحي يحمل بصمتكم كما يحمل اسمي.

الحمد لله أولاً وأخراً، سرّاً وعلانية، حتى يرضى، وإذا رضي، وبعد الرضا.

## Résumé

Cette étude s'est penchée sur l'évaluation des pertes mécaniques subies par la luzerne au cours des différentes phases de la récolte, à savoir la coupe, le ramassage et le pressage. Elle a été menée dans la région de Ben Nasser Ben Chahra, située dans la wilaya de Laghouat, connue pour son climat aride et sa vocation agropastorale. L'étude repose sur une comparaison entre la quantité réelle de matière sèche présente dans les champs et celle effectivement récoltée par les agriculteurs. Les observations de terrain ont révélé que les pertes mécaniques variaient entre 32 % et 48 %, avec une prédominance au niveau des feuilles, en raison de leur fragilité et de leur détachement facile lors de la manipulation. En outre, des pertes supplémentaires entre 11 et 13 % ont été relevées lorsque la récolte a coïncidé avec un épisode pluvieux et une durée de séchage un peu prolongée. Ce surplus est principalement dû au lessivage des éléments nutritifs par les pluies et à la continuation de la respiration dans les tissus végétaux humides après la coupe. Sur la base de ces constats, l'étude recommande plusieurs mesures pour réduire ces pertes : planifier la récolte en tenant compte des conditions climatiques, utiliser des équipements adaptés et limiter autant que possible la durée du séchage au champ, dans le but de préserver la valeur nutritive et d'améliorer la qualité du fourrage obtenu.

**Mots clés :** luzerne, pertes mécaniques, récolte, matière sèche, Laghouat.

## ملخص

تناولت هذه الدراسة موضوع الخسائر الميكانيكية لمحصول الفصة خلال عمليات الحصاد المختلفة، والتي تشمل مراحل القص، الجمع، والكبس. وقد أجريت في منطقة بن ناصر بن شهرة الواقعة في ولاية الأغواط، وهي منطقة تتميز بمناخها الجاف وطبيعتها الرعوية والفلاحية. وتعتمد الدراسة على المقارنة بين كمية المادة الجافة الموجودة فعلياً في الحقول وتلك التي يحصدها المزارعون فعلياً. وكشفت الملاحظات الميدانية أن الخسائر الميكانيكية تراوحت بين 32% و48%، مع غلبة على مستوى الأوراق، بسبب هشاشتها وسهولة انفصالها أثناء التعامل معها. وبالإضافة إلى ذلك، تم تسجيل خسائر إضافية تتراوح بين 11 و13% عندما تزامن الحصاد مع سقوط أمطار وفترة تجفيف أطول قليلاً. ويرجع هذا الفائض بشكل رئيسي إلى تسرب العناصر الغذائية عن طريق مياه الأمطار واستمرار التنفس في أنسجة النبات الرطبة بعد القطع. وبناء على هذه النتائج، توصي الدراسة بعدة إجراءات للحد من هذه الخسائر: تخطيط الحصاد مع مراعاة الظروف المناخية، واستخدام المعدات المناسبة، والحد من مدة تجفيف الحقل قدر الإمكان، بهدف الحفاظ على القيمة الغذائية وتحسين جودة العلف المتحصل عليه.

**الكلمات المفتاحية:** الفصة، الخسائر الميكانيكية، الحصاد، المادة الجافة، الأغواط.

## Abstract

This study focused on the assessment of mechanical losses suffered by alfalfa during the different phases of harvesting, namely cutting, picking and pressing. It was conducted in the Ben Nasser Ben Chahra region, located in the wilaya of Laghouat, known for its arid climate and agropastoral vocation. The study was based on a comparison between the actual amount of dry matter present in the fields and that actually harvested by farmers. Field observations revealed that mechanical losses varied between 32% and 48%, with a predominance in the leaves, due to their fragility and easy detachment during handling. In addition, additional losses of between 11 and 13% were noted when the harvest coincided with a rainy episode and a slightly extended drying time. This surplus is mainly due to the leaching of nutrients by rain and the continuation of respiration in wet plant tissues after cutting. Based on these findings, the study recommends several measures to reduce these losses: planning the harvest taking into account climatic conditions, using suitable equipment and limiting the duration of field drying as much as possible, with the aim of preserving the nutritional value and improving the quality of the fodder obtained.

**Keywords:** alfalfa, mechanical losses, harvest, dry matter, Laghouat.

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b>	La forme de la luzerne	<b>03</b>
<b>Figure 2</b>	Le système racinaire de la luzerne	<b>04</b>
<b>Figure 3</b>	La tige de la luzerne	<b>05</b>
<b>Figure 4</b>	Les fleurs de la luzerne	<b>05</b>
<b>Figure 5</b>	Les fruits de la luzerne	<b>06</b>
<b>Figure 6</b>	Les stades de développement de la luzerne	<b>07</b>
<b>Figure 7</b>	Effet du stade de développement des plantes fourragères sur leur rendement et valeur nutritive	<b>08</b>
<b>Figure 8</b>	Faucheuse de la luzerne	<b>13</b>
<b>Figure 9</b>	Faneuse de la luzerne	<b>14</b>
<b>Figure 10</b>	Retourneur d'andains de la luzerne	<b>14</b>
<b>Figure 11</b>	Râteau d'andains de la luzerne	<b>15</b>
<b>Figure 12</b>	Botteleuse du foin de la luzerne	<b>16</b>
<b>Figure 13</b>	Localisation de la région d'étude	<b>19</b>
<b>Figure 14</b>	Carte des sols de la wilaya de Laghouat	<b>21</b>
<b>Figure 15</b>	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région Ben nacer Ben chohra	<b>23</b>
<b>Figure 16</b>	Climagramme d'Emberger de la région de Ben Nacer Ben Chohra	<b>24</b>
<b>Figure 17</b>	Champ de luzerne étudié	<b>26</b>
<b>Figure 18</b>	Superficie de 1 m <sup>2</sup> de luzerne avant et après la fauche	<b>27</b>
<b>Figure 19</b>	Matière verte de 1 m <sup>2</sup> fauchée et pesée	<b>27</b>
<b>Figure 20</b>	Bottes du foin de luzerne récoltées sur un champ d'étude	<b>29</b>
<b>Figure 21</b>	Précipitations et températures minimales et maximales journalières du mois d'avril 2025	<b>30</b>
<b>Figure 22</b>	Prélèvement d'un échantillon de la matière sèche récoltée par une sonde cylindrique à extrémité dentée	<b>31</b>
<b>Figure 23</b>	Mise des échantillons prélevés des 10 bottes dans un même sachet en plastique	<b>31</b>
<b>Figure 24</b>	Pertes mécaniques très visibles sur le champ de la luzerne fauchée	<b>36</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b>	Les précipitations moyennes mensuelles enregistrées à Ben Nacer Ben Chohra de 1981 à 2020	<b>22</b>
<b>Tableau 2</b>	Régime saisonnier de la région de Ben Nacer Ben Chohra	<b>22</b>
<b>Tableau 3</b>	Les températures moyennes mensuelles enregistrées à Ben Nacer Ben Chohra entre 1981 et 2022	<b>23</b>
<b>Tableau 4</b>	Perte de matière sèche par respiration selon la température de l'air et la teneur en eau du fourrage (%/heure)	<b>28</b>
<b>Tableau 5</b>	Valeurs servant au calcul de la matière verte de la luzerne	<b>33</b>
<b>Tableau 6</b>	Valeurs servant au calcul du rendement de la matière sèche réelle	<b>34</b>
<b>Tableau 7</b>	Valeurs servant au calcul du rendement de la matière sèche récoltée	<b>34</b>
<b>Tableau 8</b>	Valeurs servant au calcul du taux des pertes mécaniques de la matière sèche	<b>35</b>
<b>Tableau 9</b>	Valeurs servant au calcul du taux des pertes de protéines brutes	<b>36</b>

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

**MS** : Matière sèche

**MV** : Matière verte

**RMV** : Rendement de matière verte

**RMS** : Rendement de matière sèche

**F** : Feuilles

**T** : Tiges

**F + T** : Feuilles + Tiges

**N** : Azote

**PB** : Protéines Brutes

# SOMMAIRE

<b>Remerciements</b> .....	<b>I</b>
<b>Dédicace</b> .....	<b>II</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>IV</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>V</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>VI</b>
<b>Liste des abréviations</b> .....	<b>VII</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>01</b>

## CHAPITRE 1 : Synthèse bibliographique

<b>1.1. Introduction</b> .....	<b>03</b>
<b>1.2. Taxonomie et classification botanique</b> .....	<b>03</b>
<b>1.3. Caractéristiques morphologiques de la luzerne</b> .....	<b>04</b>
<b>1.4. Cycle de développement et de croissance de la luzerne</b> .....	<b>06</b>
<b>1.5. Effet du stade de développement des plantes fourragères sur leur rendement et valeur nutritive</b> .....	<b>07</b>
<b>1.6. Exigences de la culture de la luzerne</b> .....	<b>08</b>
1.6.1. Exigences climatiques .....	<b>08</b>
a- La température .....	<b>08</b>
b- La lumière .....	<b>08</b>
1.6.2. Exigences hydriques .....	<b>08</b>
1.6.3. Exigences édaphiques .....	<b>09</b>
1.6.4. Exigences en éléments fertilisants .....	<b>09</b>
<b>1.7. L'installation de la culture de la luzerne</b> .....	<b>09</b>
1.7.1. Le travail du sol .....	<b>09</b>
1.7.2. Date de semis .....	<b>10</b>
1.7.3. Préparation du lit de semences .....	<b>10</b>
1.7.4. Densité de semis .....	<b>10</b>
1.7.5. Fertilisation .....	<b>10</b>
1.7.6. Irrigation .....	<b>10</b>
1.7.7. Maitrise des adventices .....	<b>11</b>
1.7.8. Récolte .....	<b>11</b>

<b>1.8. La chaîne de récolte du foin de la luzerne</b> .....	<b>11</b>
1.8.1. Période de la récolte .....	11
a- Stade de maturité .....	11
b- Prévisions météorologiques .....	12
c- Moment de la journée .....	12
1.8.2. Fauche .....	12
1.8.3. Manipulation des andains .....	13
a- Fanage .....	13
b- Retournement .....	14
c- Râtelage .....	15
1.8.4. Pressage .....	15
<b>1.9. Principales pertes au champ durant la fenaison</b> .....	<b>16</b>
1.9.1. Les pertes mécaniques .....	16
1.9.2. Les pertes par lessivage .....	17
1.9.3. Les pertes par respiration .....	17

## **CHAPITRE 2 : Présentation des régions d'étude**

<b>2.1. Situation géographique des régions d'étude</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2. Géologie</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3. Géomorphologie</b> .....	<b>19</b>
2.3.1. Les reliefs .....	20
a- Les montagnes .....	20
b- Les piémonts .....	20
c- Les surfaces subhorizontales .....	20
2.3.2. Les Hautes surfaces (Glacis et Terrasses) .....	20
2.3.3. Les dépressions (Dayas) .....	20
<b>2.4. Pédologie</b> .....	<b>20</b>
<b>2.5. Etude bioclimatique</b> .....	<b>21</b>
2.5.1. Précipitations .....	22
2.5.2. Le régime saisonnier des précipitations .....	22
2.5.3. Températures .....	22
2.5.4. Synthèse bioclimatique .....	23
a- Diagramme ombrothermique .....	23
b- Climagramme d'Emberger .....	24

## **CHAPITRE 3 : Matériels et méthode**

<b>3.1. Objectif du travail</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2. Matériel végétal</b> .....	<b>26</b>
<b>3.3. Dispositif expérimental</b> .....	<b>26</b>
3.3.1. Quantification du rendement de la matière sèche réelle .....	27
3.3.2. Estimation du rendement de la matière sèche récoltée par l'agriculteur .....	29
3.3.3. Calcul du taux des pertes mécaniques .....	29

## **CHAPITRE 4 : Résultats et discussion**

<b>4.1. Résultats</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1.1. Rendement de matière verte par hectare (RMV tonnes/ha)</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1.2. Rendement de la matière sèche réelle (RMS réelle tonnes/ha)</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1.3. Rendement de la matière sèche récoltée par l'agriculteur</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1.4. Taux des pertes mécaniques de la matière sèche</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1.5. Taux des pertes des protéines brutes (PB)</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2. Discussion</b> .....	<b>37</b>

<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b> .....	<b>39</b>
----------------------------------	-----------

<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>41</b>
--	-----------

---

---

# INTRODUCTION

---

---

La luzerne (*Medicago sativa* L.) est l'une des plantes fourragères les plus anciennes et les plus importantes cultivées dans le monde. Elle se distingue par sa haute productivité en biomasse et sa richesse en protéines, vitamines et minéraux essentiels à l'alimentation des ruminants (Jafari et Naseri, 2007). En plus de ses qualités nutritives, la luzerne joue un rôle clé sur le plan environnemental grâce à sa capacité à fixer l'azote atmosphérique, contribuant ainsi à la fertilité des sols et à la durabilité des systèmes agricoles (Putnam *et al.*, 2001).

En Algérie, la luzerne occupe une place stratégique dans le système fourrager, notamment dans les zones à climat aride et semi-aride, en raison de sa résistance à la sécheresse grâce à un système racinaire profond qui lui permet de produire durant plusieurs années (Benabderrahmane *et al.*, 2014). Cependant, la productivité réelle de cette culture est souvent compromise par divers facteurs, parmi lesquels figurent en tête les pertes mécaniques survenant lors des opérations de récolte, notamment au cours du fanage et du pressage. Ces pertes, causées par la fragmentation des feuilles ou un mauvais choix du moment de récolte, peuvent entraîner une diminution significative de la matière sèche et des protéines.

Ce problème devient d'autant plus préoccupant dans les systèmes agricoles traditionnels où l'utilisation d'équipements modernes reste limitée. Selon plusieurs études, les pertes peuvent atteindre entre 6 et 29 % du rendement total (Rotz et Muck, 1994). Étant donné que la qualité du foin dépend principalement de la proportion de feuilles et de la teneur en protéines, toute perte de ces éléments nuit directement à la valeur nutritionnelle du fourrage et à son efficacité économique.

Dans ce contexte, le présent travail vise à évaluer les pertes mécaniques subies lors de la récolte de la luzerne dans la région de Ben Nasser Ben Chohra (wilaya de Laghouat), en comparant deux variétés distinctes : CUF 101 et Speed, dans des conditions agricoles réelles. L'étude a également pour objectif d'analyser l'impact de ces pertes sur la valeur fourragère du produit récolté et de proposer des recommandations techniques visant à améliorer les pratiques de récolte et à réduire les pertes.

---

---

# **CHAPITRE 1**

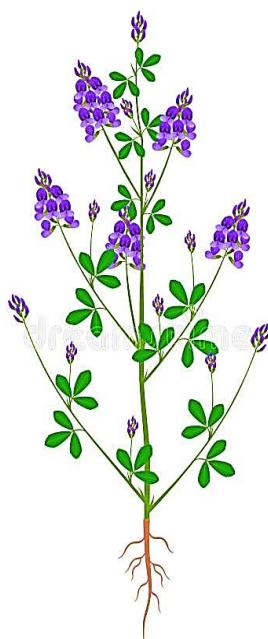
---

---

## **Synthèse Bibliographique**

## 1.1. Introduction

La luzerne est une légumineuse fourragère connue pour sa forte teneur en protéines, en fibres de bonne qualité, en vitamines et en pigments. Elle est principalement utilisée sous forme de foin ou de bouchon déshydraté. Elle ne contient pas de facteurs anti-nutritionnels pour les ruminants, mais son utilisation au pâturage peut nécessiter une certaine prudence en raison du risque de météorisation. La luzerne est essentielle dans l'alimentation des ruminants, en particulier pour les vaches laitières, mais elle est également utilisée pour les petits ruminants et les chevaux (Rita *et al.*, 2017).



**Figure 1.** La morphologie de la luzerne cultivée (www.depositphotos.com)

## 1.2. Taxonomie et classification botanique

La luzerne a été classée scientifiquement par Linné en 1753 dans le genre *Médicago*, avec comme nom binomial *Medicago sativa* L. Sa classification est la suivante :

<b>Règne</b>	Plantae
<b>Sous-Règne</b>	Tracheophyta
<b>Embranchement</b>	Spermaphytes
<b>Sous-embranchement</b>	Angiospermes
<b>Classe</b>	Dicotylédones
<b>Sous-Classe</b>	Dialypétales
<b>Ordre</b>	Rosales
<b>Famille</b>	Légumineuses

<b>Sous-Famille</b>	Papilionacées
<b>Tribu</b>	Trifolieae
<b>Genre</b>	<i>Medicago</i>
<b>Espèce</b>	<i>Medicago sativa</i> L.

### 1.3. Caractéristiques morphologiques de la luzerne

C'est une plante herbacée de 30 à 80 cm de hauteur, vivace par sa grosse souche ligneuse.

- **Le système racinaire de la luzerne** est largement développé (Figure 2), lui permettant d'atteindre des profondeurs importantes (plusieurs mètres). Cela le distingue en offrant une excellente résistance à l'humidité ainsi que la capacité de déshydrater et d'améliorer la perméabilité du sol. De plus, comme les autres légumineuses, les nodosités qui se forment sur ses racines lui confèrent la capacité de fixer l'azote atmosphérique et ainsi d'enrichir le sol. La luzerne possède un système racinaire pivotant très développé et profond (environ deux mètres), lui permettant de fragmenter le sol et d'améliorer sa structure (Robert *et al.*, 2009).



**Figure 2.** Le système racinaire de la luzerne (www.flickr.com)

- **La tige** ramifiée est pleine, avec une consistance coriace à section circulaire (Figure 3). Chaque pied peut avoir de 5 à 15 tiges. Les feuilles alternes, à base simple parsemée de stipules et dentelées à la base. Elles sont constituées de trois oblongues au sommet avec des dents mucorées. Elles sont couvertes d'une pubescence vert grisâtre. Le pétiole de la foliole centrale est plus long que les autres.



**Figure 3.** La tige de la luzerne ([www.infoflora.ch](http://www.infoflora.ch))

▪ **Les fleurs** à la corolle violette longue de 8-11 mm, sont groupées en grappes et sont très reconnaissables (Figure 4). La luzerne est allogame. Les fleurs hermaphrodites, symétriques, sont longues (7 à 11 mm). Elles sont regroupées en inflorescences en grappes longues de 20 à 40 mm et de 15 à 30 fleurs et à corolle bleu violacé, un pédicelle généralement plus court que le tube du calice et dont les gousses sont contournées en hélice à 1,5- 3,5 tours. La couleur des fleurs sont très diversifiées. La plus fréquente chez les *Medicago sativa* est mauve-violet alors que les *Medicago falcata* ont des fleurs jaunes.



**Figure 4.** Les fleurs de la luzerne ([www.lagazettedesplantes.com](http://www.lagazettedesplantes.com))

- **Les fruits** sont des gousses qui sont cueillies dans une senestre à hélice sur deux à trois tours et contiennent 10 à 20 grains (Figure 5). Les fruits sont noirs et gousses indéhiscents. Ils sont enveloppés dans une, deux ou trois spirales. Ils sont recouverts de petites soies et d'un réseau de nervures. Plusieurs grains brun-jaune réniformes composent la gousse.



**Figure 5.** Les fruits de la luzerne (www.fr.wikipedia.org)

### 1.4. Cycle biologique de la luzerne

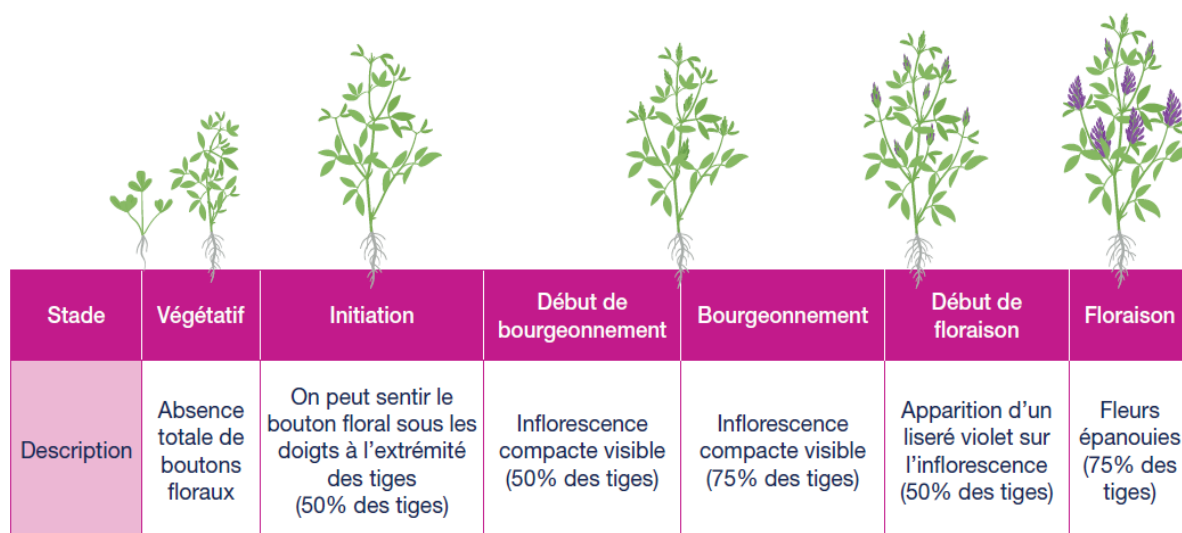
La luzerne est une plante vivace dont le cycle de croissance est basé sur le stockage des hydrates de carbone dans ses racines ; après chaque coupe, la plante utilise ces réserves pour repousser. Ce cycle se répète jusqu'à ce que le rendement baisse.

La durée de vie globale de la luzerne est déterminée par un certain nombre de facteurs, notamment sa variété (persistance), le temps, le soleil et le flux de la culture (en particulier le nombre de coupes) (Fares, 2008).

Dans des conditions idéales, la luzerne germe et mûrit en 8 à 12 jours. Sa germination est sporadique, et la première feuille (feuille cotylédonaire) est incomplète.

Plusieurs étapes successives peuvent être identifiées à Luzerne :

- Lorsque la luzerne n'a que des brindilles et des feuilles, elle est à **l'état végétatif**.
- Lorsque les boutons floraux apparaissent, c'est **le bouton stade**.
- **La phase de floraison** est atteinte lorsque les boutons s'ouvrent.
- **Les étapes de formation et de maturation des grains** sont les suivantes : La figure 6 décrit les étapes de développement de la luzerne.



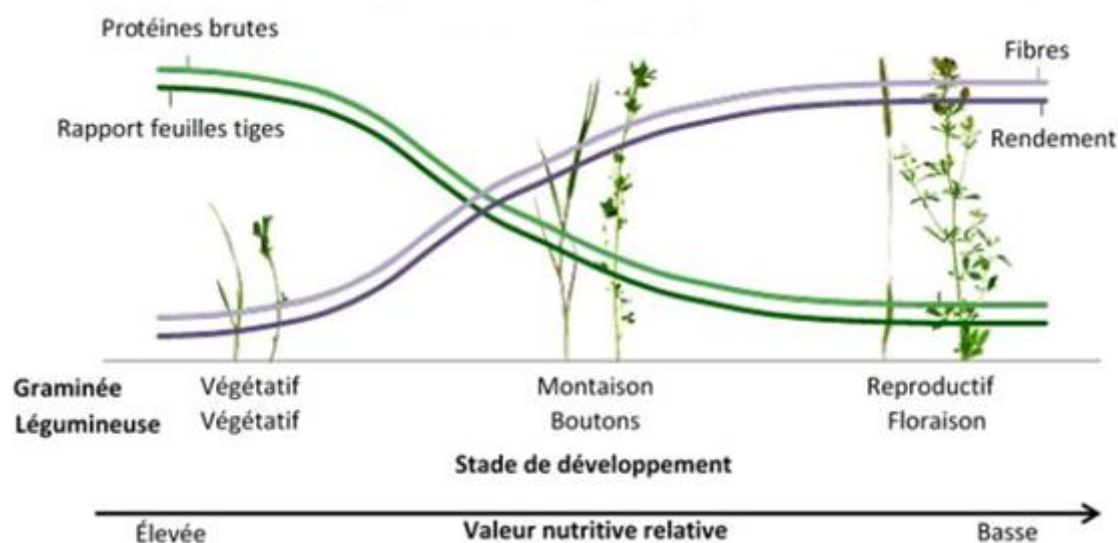
**Figure 6.** Les stades de développement de la luzerne ([www.spotifarm.fr](http://www.spotifarm.fr))

### 1.5. Effet du stade de développement des plantes fourragères sur leur rendement et valeur nutritive

Le stade de développement des plantes fourragères au moment de la récolte a un impact significatif sur leur rendement, leur valeur nutritionnelle et leur viabilité à long terme (Rita *et al.*, 2017). Les plantes utilisent l'énergie du soleil, le dioxyde de carbone de l'air et l'eau pour synthétiser les sucres, ce qu'elles font par photosynthèse. Les plantes peuvent pousser grâce aux glucides produits, ce qui augmente le rendement des cultures.

Les plantes fourragères pérennes stockent des réserves de nutriments dans les dernières semaines de chaque cycle de repousse, ainsi qu'à l'automne, leur permettant de repousser après chaque coupe et au printemps (Fares, 2008). La récolte de plants de fourragère à un stade de développement avancé améliore le rendement et la viabilité à long terme des cultures fourragères.

Cependant, le stade de développement à la récolte est un facteur déterminant dans la valeur nutritive du fourrage qui en résulte. Au cours de la croissance et du développement des plantes, la teneur en fibres augmente, les parois cellulosiques se lignifient et le rapport feuilles/tiges diminue (Genier, 1992). Ces changements entraînent une diminution de la teneur en protéines ainsi que de la digestibilité de la matière sèche et des fibres du fourrage, le rendant moins attrayant, moins consommé et moins efficacement utilisé par le ruminant.



**Figure 7.** Effet du stade de développement des plantes fourragères sur leur rendement et valeur nutritive

## 1.6. Exigences de la culture de la luzerne

### 1.6.1. Exigences climatiques

#### a- La température

Les températures optimales de croissance pour la luzerne se situent à un palier élevé de 20 à 30 C°. La température maximale autorisant la croissance est de l'ordre de 37 C°, ou la luzerne accuse un net fléchissement de production pendant les mois d'été en Afrique du nord. La température minimale au-dessous de laquelle la plante suspende son activité définit une autre limite. Ce zéro de végétation est de l'ordre de 8 à 9 C° (Mehiri et Zahouani, 2018).

#### b- La lumière

Le photopériodisme agit non seulement comme un facteur d'orientation, mais il affecte également la morphologie et la production de matière sèche. De longues périodes de croissance franche produisent une répartition des feuilles au détriment de leur taille. La photopériode est l'indicateur le plus important de la floraison : elle varie selon les variétés.

### 1.6.2. Exigences hydriques

L'eau est le facteur climatique le plus important pour la Luzerne ; les légumineuses ont des besoins en hydratation importants ; une luzerne nécessite 600 kg d'eau pour produire 1 kg de matière sèche. La quantité d'eau nécessaire pour une production optimale est comprise entre 12000 et 13000 m<sup>3</sup> par hectare, soit 1200 à 1300 mm d'eau par année de culture (Bouaboub-

Mossab, 2001). Si l'eau est disponible et qu'il n'y a pas d'autres contraintes, la luzerne est la première plante à floraison printemps-été à considérer. Cependant, la solidité de son système racinaire lui permet de résister à une sécheresse de 2 à 3 mois. La luzerne est considérée comme une espèce tolérante à la sécheresse en partie parce que son enracinement lui permet de survivre dans un sol profond (Fares, 2008). Cependant, lorsqu'elle est restreinte dans sa consommation d'eau, cela contribue à une diminution de sa production dans des proportions moins importantes.

### 1.6.3. Exigences édaphiques

La luzerne nécessite des sols profonds et bien drainés. Elle se développe dans des sols alcalins et neutres avec un pH allant de 6,5 à 8. En ce qui concerne la salinité, la luzerne a des niveaux de tolérance différents selon la variété. Pour les sols légèrement acides, les amendements calciques servent de mesure de précaution. Un minimum de 20 à 30 cm de travail du sol est nécessaire pour un bon enracinement. Cependant, en terrain sec, un ameublissement excessif (risque de formation d'une croûte de battance) doit être évité.

### 1.6.4. Exigences en éléments fertilisants

Pour obtenir un bon rendement d'une culture de luzerne, il faut lui apporter les éléments nutritifs dont elle a besoin. Un haut niveau de fertilisation est indispensable au maintien d'une production élevée de 2 à 5 ans. La luzerne peut appauvrir le sol en potasse, car elle en exporte de 800 à 1000 kg/ha en quatre ans (Fares, 2008).

## 1.7. Conduite de la luzerne

### 1.7.1. Le travail du sol

Le travail du sol vise à obtenir un lit de semence meuble dans les 20 premiers cm pour faciliter la croissance et la nodulation des racines et pour incorporer des engrais. Une fertilisation phosphorique ( $P_2O_5$  de 50 à 60 kg/ha) et potassique ( $K_2O$  de 100 à 120 kg/ha) est recommandée pendant le travail du sol. Une légère fertilisation azotée (20 à 30 kg/ha) peut être utile pour faciliter l'installation alors que la symbiose ne fonctionne pas encore. Le contact semence-sol est crucial. L'enrobage ou le pelliculage des semences favorise l'adhérence du sol aux graines et améliore l'absorption de l'humidité du sol par les graines. Un lit de semence fin est particulièrement nécessaire dans les sols lourds, pour garantir une germination des graines élevée et rapide. Dans tous les sols, la profondeur de semis ne doit pas dépasser 1,5 cm (Rita *et al.*, 2017).

### 1.7.2. Date de semis

La luzerne peut être semée au printemps ou à la fin de l'été, selon les contraintes climatiques de la région.

Les semis de fin d'été ont l'avantage d'assurer un meilleur établissement de la culture, le pivot pouvant bien se développer durant l'hiver. Ainsi la luzerne est productive dès la première année d'implantation. Cependant, les semis de fin d'été ne sont possibles que dans les régions où les automnes sont doux et humides.

Dans les régions où les automnes sont frais et les gelées précoces, il est recommandé de semer au printemps quand le sol se réchauffe. Les semis de printemps sont aussi à privilégier dans les régions où les fins d'été sont très chaudes et sèche si la luzerne n'est pas irriguée.

### 1.7.3. Préparation du lit de semences

Le lit de semences doit être suffisamment fin et émietté en surface pour faciliter le développement racinaire.

La graine de luzerne étant très petite, le sol doit être suffisamment rappuyé en profondeur et il est recommandé de rouler avant et après le semis pour augmenter le contact entre la graine et les particules de terre.

La profondeur de semis idéale est de 1 à 2 cm pour assurer une bonne levée homogène.

L'espace d'inter-rangs doit être de 15 cm maximum pour bien optimiser l'espace et faciliter la gestion des mauvaises herbes.

### 1.7.4. Densité de semis

La dose de semis peut varier de 20 à 30 kg/ha, selon la variété, le type de sol, les traitements des semences (graines brutes ou enrobées) et le type d'utilisation des cultures. Le nombre optimal de plantes installées varie entre 200 et 400 par m<sup>2</sup>.

### 1.7.5. Fertilisation

En tant que légumineuse, la luzerne ne nécessite aucune fertilisation azotée. Sa fertilisation est principalement axée sur le phosphore et le potassium, sans négliger les oligo-éléments et le maintien du pH du sol.

### 1.7.6. Irrigation

La Luzerne est très résistante à la sécheresse grâce à son système racinaire (pivot) qui permet d'explorer profondément le sol. Mais l'irrigation est nécessaire en région à faible pluviométrie ou en sol superficiel.

Les besoins en eau de la luzerne (eau du sol + pluie + irrigation) sont estimés à 40 mm pour produire 1 tonne de MS. Il convient donc d'adapter les quantités en fonction des objectifs de rendements fixés. Attention, la luzerne ne supporte pas les excès d'eau.

### 1.7.7. Maitrise des adventices

La luzerne est une espèce qui supporte très mal la compétition avec les mauvaises herbes. Il est important de contrôler la propreté de la parcelle dès le semis pour optimiser la production et la pérennité de la culture.

### 1.7.8. Récolte

Plusieurs enjeux dans la phase de récolte : assurer la qualité du fourrage récolté sans endommager la luzerne afin de préserver sa pérennité.

Selon l'objectif de l'éleveur et les conditions météorologiques, la luzerne peut être : pâturée directement au champ, l'objet d'un affouragement en vert, déshydratée, récoltée en ensilage, en enrubannage, ou en foin.

Généralement, les éleveurs privilégient l'ensilage sur la première coupe de l'année quand la durée de séchage au sol est limitée, et le foin ou l'enrubannage pendant l'été.

## 1.8. Période de la récolte

### 1.8.1. Stade de maturité

Le stade de maturité optimal est généralement déterminé par le marché visé. Les acheteurs de luzerne pour les vaches laitières par exemple favorisent un foin jeune au stade début floraison ou même plus hâtif.

Les fourrages jeunes sont très humides à la fauche ; ils contiennent parfois plus de 80 % d'eau. Ils exigent au moins trois jours de séchage par beau temps avant d'être récoltés à 20 ou 25 % de teneur en eau. Les fourrages mûrs sont plus secs à la fauche, entre 60 et 70 % d'eau, et ils sèchent plus vite que les fourrages jeunes. Ils peuvent atteindre 15 à 20 % de teneur en eau après deux ou trois jours de beau temps (Savoie *et al.*, 2002).

### 1.8.2. Prévisions météorologiques

Pour faire du foin hâtif, on devrait attendre des prévisions d'au moins trois jours consécutifs sans pluie. Quant au foin mûr, on peut souvent le faucher et le presser en deux jours de beau temps (Savoie *et al.*, 2002).

### 1.8.3. Moment de la journée

Il est préférable de faucher tôt dans la journée, dès que la rosée a disparu. Les andains peuvent alors profiter d'un maximum d'heures d'ensoleillement. Un séchage rapide minimise la respiration cellulaire et la perte de sucres. Certaines études ont montré que les plantes contiennent plus de sucres en fin de journée à cause de la photosynthèse. Toutefois, il n'y a pas

d'avantage à retarder la fauche jusqu'en fin de journée car le surplus de sucres sera perdu par respiration durant la nuit. Il n'y a pas de moment idéal à faucher durant la journée. Il faut simplement commencer à faucher dès que quelques jours de beau temps sont prévus (Savoie *et al.*, 2002).

## 1.9. La chaîne de récolte du foin de la luzerne

La fenaison se fait en trois étapes principales : la fauche de l'herbe fraîche ; le séchage au champ pendant quelques jours ; le pressage en balles. Pour obtenir un foin de qualité, il faut faire une série d'opérations juste au bon moment et éviter que la pluie ne détériore les andains.

Une fois récolté, le foin doit rester sec afin d'éviter le développement de moisissures. Plusieurs techniques au champ peuvent contribuer à produire un foin de haute qualité recherché sur le marché. Les prochaines sections décrivent les principales opérations de récolte.

### 1.9.1. Fauche

On peut utiliser indifféremment la faucheuse à barre de coupe ou la faucheuse à disques. Les deux types de faucheuses permettent de former des andains droits et uniformes (Figure 8). On doit ajuster la hauteur de coupe selon le foin recherché. Une coupe rase à 3 ou 4 cm du sol donnera un foin avec une bonne proportion de tiges, donc assez fibreux. Une coupe plus haute, à 6 ou 8 cm du sol, fournira un foin plus feuillu, donc plus riche en énergie et en protéine.

Sous le climat relativement humide, on recommande d'étaler les andains le plus largement possible derrière la faucheuse. Des andains larges captent une plus grande proportion de l'énergie solaire et favorisent un séchage plus rapide que des andains étroits. Toutefois, des andains larges ont tendance à blanchir plus que des andains étroits.

Dans les régions sèches, on forme des andains étroits qui sèchent lentement, pendant cinq ou six jours, principalement sous l'action du vent et de l'air sec. Les andains étroits sont protégés des rayons du soleil et conservent bien leur couleur verte originale.

En fauchant, il faut éviter de mêler au bon foin des plantes indésirables ou de la terre. Si on observe des îlots de mauvaises herbes dans certaines parties du champ, on devrait les récolter séparément. De même, si on rase par mégarde des buttes de terre, le foin provenant de ces parties de champ sera contaminé. On doit donc mettre de côté ce foin afin d'éviter le déclassement de l'ensemble de la récolte (Savoie *et al.*, 2002).



**Figure 8.** Faucheuse de la luzerne ([www.laterre.ca](http://www.laterre.ca))

### 1.9.2. Manipulation des andains

Après quelques heures de séchage au champ, les andains ont tendance à devenir très secs sur le dessus et à rester humides en-dessous. Pour uniformiser le séchage, on utilise diverses machines qui manipulent les andains. Les principales opérations sont le fanage, le retournement et le râtelage.

#### a. Fanage

Le fanage consiste à éparpiller le foin partout sur le sol (Figure 9). Il améliore le séchage en augmentant l'aération et la surface de captage des rayons solaires. La faneuse à toupies agit par impact en soulevant l'andain. Elle doit être utilisée avec précaution dans la luzerne pour minimiser la perte de feuilles.

On ne devrait pas faner lorsque plusieurs jours de beau temps sont prévus. Il vaut mieux laisser les andains un jour de plus à l'extérieur par beau temps. En évitant le fanage, on limite la perte de feuilles, on conserve mieux la couleur verte du fourrage et on réduit le risque d'entraîner des débris dans le foin.

Certains producteurs fanent systématiquement deux fois les andains. Ils sauvent en moyenne une journée complète de séchage au champ. Un premier fanage devrait être effectué quelques heures après la fauche. Un deuxième fanage peut être effectué le lendemain matin, peu après que la rosée se soit évaporée. Le fourrage fané doit ensuite être râtelé et remis en andain avant le pressage (Savoie *et al.*, 2002).



**Figure 9.** Faneuse de la luzerne ([www.krone-agriculture.com](http://www.krone-agriculture.com))

### **b. Retournement**

Cette opération est effectuée en soulevant et en tournant à l'envers les andains (Figure 10). La face humide de l'andain, précédemment contre le sol, est tournée vers le soleil alors que la face sèche de l'andain se retrouve contre le sol.

Le retournement est une manipulation plus délicate que le fanage. Il est bien adapté aux fourrages sensibles à la perte de feuilles comme la luzerne. Un premier retournement devrait être fait quatre à six heures après la fauche ou le lendemain matin. Il devrait permettre de sauver environ quatre heures de séchage au champ. Un andain retourné peut avoir la même largeur que l'andain originalement déposé derrière la faucheuse. Il peut donc être ramassé directement par la presse sans nécessiter un râtelage (Savoie *et al.*, 2002).



**Figure 10.** Retourneur d'andains de la luzerne ([www.bioactualites.ch](http://www.bioactualites.ch))

### c. Râtelage

Le râtelage consiste à ramener dans un andain étroit le fourrage qui est étalé au champ. On utilise aussi le râteau pour jumeler deux ou trois andains ensemble afin d'accroître la capacité de passage sans avoir à opérer à haute vitesse (Figure 11).

Le râteau ne doit pas torsader le foin ni former des paquets. Un andain bien râtelé doit être facile à ramasser par la presse. Idéalement, il a une hauteur uniforme et une largeur inférieure, d'environ 30 cm, à la largeur du ramasseur d'andain de la presse.

Le râtelage est habituellement la dernière opération avant le pressage. On devrait l'effectuer quand le foin contient encore au moins 30 à 35 % d'humidité pour éviter des pertes de feuilles importantes. La hauteur de ramassage doit être ajustée près du sol pour bien ramasser tout le foin sans toutefois toucher au sol, ce qui entraînerait des cailloux et des débris végétaux dans l'andain (Savoie *et al.*, 2002).



**Figure 11.** Râteau d'andains de la luzerne (www.kuhn.com)

### 1.9.3. Le pressage

Le choix de la presse et la densité des balles sont étroitement liés aux marchés sur lesquels le foin sera vendu (Figure 12). Pour le marché des chevaux, on préfère de petites balles rectangulaires. Pour le marché des bovins laitiers, on accepte de plus en plus les grosses balles rectangulaires. En général, on évitera la balle ronde qui ne se prête pas bien au chargement en camion.

Pour toutes les formes de balles, on cherche à obtenir la plus haute densité possible afin d'augmenter la capacité de transport en camion. Toutefois, plus le foin est dense, plus il faut le récolter sec parce qu'il devient alors très résistant à la ventilation et à l'aération (Savoie *et al.*, 2002).



**Figure 12.** Botteleuse du foin de la luzerne ([www.ics-agri.com](http://www.ics-agri.com))

## 1.10. Principales pertes au champ durant la fenaison

On observe deux types de pertes lors de la récolte de l'herbe au champ : les pertes mécaniques par fragmentation et les pertes non mécaniques par oxydation et lessivage. Les pertes mécaniques se produisent lors de chacune des principales opérations au champ : la fauche, le conditionnement, la manipulation des andains et le pressage (Mc Gechan, 1989). Les pertes non mécaniques, parfois appelées pertes invisibles, augmentent graduellement avec la durée de fanage et subitement avec la pluie (Rotz and Abrams, 1988).

### 1.10.1. Les pertes mécaniques

Les pertes mécaniques sont causées par les différentes manipulations du fourrage (fauche, fanage, râtelage et pressage). Il s'agit surtout de pertes de feuilles puisque ces dernières sèchent plus vite que les tiges. L'importance des pertes mécaniques de feuilles dépend de l'espèce récoltée, sa maturité, l'humidité du fourrage lors des opérations et les équipements utilisés. Les pertes au fanage sont plus élevées avec la luzerne qu'avec les graminées (Savoie, 1987), surtout si elle est avancée en maturité. Elles sont d'autant plus élevées que la teneur en humidité est faible. Le fanage (1 ou 2 passages) se traduit par des pertes de 11-15 % chez la luzerne et 2-3 % chez la fléole (Savoie, 1987).

Le râtelage peut aussi entraîner des pertes importantes s'il est effectué lorsque le fourrage est trop sec. Un râtelage à 20 % d'humidité entraîne deux fois plus de pertes de matière sèche qu'un râtelage à 33 % d'humidité (12 % contre 7 %). Un pressage à 20 % d'humidité fait aussi augmenter les pertes de matière sèche par rapport à un pressage à 25% d'humidité (4 % contre 3 %) (Pitt, 1990). De plus la perte de qualité est généralement plus importante que la perte de matière sèche lorsque le fourrage est sec. Les pertes de protéines brutes sont 35 % plus élevées

que les pertes de matière sèche lors du râtelage de la luzerne à 30 % d'humidité (10 % contre 7,5 %) et 60 % plus élevées à 25 % d'humidité (12,7 % contre 8,5 %) (Buckmaster, 1993).

Pour minimiser les pertes mécaniques, il faut faire les opérations au bon taux d'humidité. Il est recommandé d'utiliser les retourneurs d'andains pour retourner ou rétrécir les andains et de ne pas faner à une teneur en humidité inférieure à 40 % et ne pas râtelier à une teneur en humidité inférieure à 30 %. Ceci est particulièrement important avec la luzerne et moins critique avec les graminées. De plus il ne faut pas laisser baisser la teneur en humidité trop bas inutilement avant de réaliser le pressage, lorsque les conditions sont très propices au séchage.

### **1.10.2. Les pertes par lessivage**

Les pluies réduisent la qualité du foin de différentes façons. Il en résulte un lessivage des éléments nutritifs solubles. De fortes pluies peuvent aussi entraîner des bris des feuilles. De plus les pluies réactivent la respiration et font augmenter la durée de séchage et les pertes mécaniques dû aux manipulations additionnelles du fourrage. Pour diminuer les risques que le foin attrape de la pluie, il faut utiliser les prévisions météo pour planifier les opérations de récolte (Amyot, 2003).

### **1.10.3. Les pertes par respiration**

Les tissus végétaux continuent à respirer tant que les cellules sont vivantes. La respiration est intense à la fauche (70-80 % d'humidité) et diminue rapidement lorsque la teneur en humidité diminue. Elle est plus intense à haute température (Moser, 1995). Même de faibles pertes de matière sèche dues à la respiration sont très importantes puisqu'il s'agit de pertes de sucres qui constituent un matériel très digestible. Ces pertes sont bien réelles, même si elles sont invisibles. Les pertes de matière sèche dues à la respiration sont généralement de 2-3 % dans l'ensilage préfané. Dans le foin séché au champ elles sont de 8-10 % dans les bonnes conditions et peuvent atteindre 15-16 % dans les mauvaises conditions (Moser, 1995). Puisque les pertes par respiration augmentent avec la durée d'exposition au champ, le meilleur moyen pour les réduire est de réaliser un séchage rapide.

---

---

## **CHAPITRE 2**

---

---

Présentation générale de la région d'étude

## 2.1. Situation géographique de la région d'étude

Selon le découpage en zone homogène effectué pour la wilaya de Laghouat, la commune de Ben Nacer Ben Chohra est située dans la zone homogène des hautes plaines semi-arides et arides à vocation agro-pastorale. Cette région d'étude est située dans la wilaya de Laghouat selon la figure 13.



**Figure 13.** Localisation de la région d'étude (carte tirée de Daoudi *et al.* (2021) modifiée par l'auteur)

## 2.2. Géologie

Le territoire de la wilaya s'étend sur deux domaines géologiques différents, notamment sur le plan de la structure et de l'évolution (Emberger, 1960 ; IAP, 1972 et Hannachi, 1981), ces domaines sont :

- L'Atlas Saharien au nord, formé par les monts des Amours et les monts des Ouled Nail ;
- La plate forme Saharienne au Sud, formée par un ensemble de plateaux subtabulaires diversifiés selon leurs structures, leurs positions et la nature de la roche qui les constituent.

Ces plateaux sont communément désignés par les noms arabes (Hmada et Reg).

## 2.3. Géomorphologie

Les paysages de la wilaya de Laghouat présentent une topographie typique des régions sèches, l'expression synthétique de l'interaction entre les facteurs climatiques et géologiques la caractérise par les reliefs plus ou moins abrupts, surtout de l'Atlas Saharien qui s'opposent aux

vastes surfaces subhorizontales dont les valeurs morphologiques ne sont pas les mêmes (Pouget, 1980 ; Djebaili, 1984 ; Aidoud-Lounis, 1984). Les géoformes peuvent se résumer à :

### 2.3.1. Les reliefs

Ce sont l'ensemble des inégalités de la structure terrestre de la wilaya, formés de relief de l'Atlas Saharien. Dans les reliefs montagneux de l'Atlas Saharien, deux aspects sont caractérisés par leur nature lithologique : les reliefs gréseux et les reliefs calcaires (Pouget, 1980). Les intervalles des altitudes permettent de distinguer à Laghouat trois formes de reliefs :

- a- Les montagnes** : constituées par les monts du Djebel Amour dont les altitudes varient entre 800 et 1720 m ;
- b- Les piémonts** : allongée d'Ouest en Est, présente une largeur réduite et elle correspond aux piémonts bas de l'Atlas Saharien et aux vallées des oueds Djedi, oued Atar et Oued M'zi ;
- c- Les surfaces subhorizontales** : appelées communément "Zone de Dayas" formée pratiquement d'un plateau plus ou moins ondulé dans les régions d'El Houita, Hassi Delaa et Hassi R'mel.

### 2.3.2. Les Hautes surfaces (Glacis et Terrasses)

L'Atlas saharien se retrouve soulevé en position dorsale par rapport au compartiment saharien et aux hautes plaines coincées entre les deux Atlas. Elles se présentent sous forme de surface d'érosion en pente douce, développées dans les régions semi arides au pied des reliefs. Elles forment l'ensemble des glacis, des terrasses, des chenaux d'oueds alluvionnés et des zones d'épandages et de débordements (Pouget, 1980).

### 2.3.3. Les dépressions (Dayas)

Ce sont des dépressions de type fermé aux bords faiblement inclinés, de formes grossièrement circulaires, parfois elliptiques mais toujours globuleuses et arrondies de diamètre très variables pouvant dépasser quelques centaines de mètres (Tricart, 1969). Peuplées de « *Pistacia atlantica* » au sud de Laghouat. Dans cette région elles couvrent environ 2 % de la surface des terrains de parcours (Monjauze, 1968).

## 2.4. Pédologie

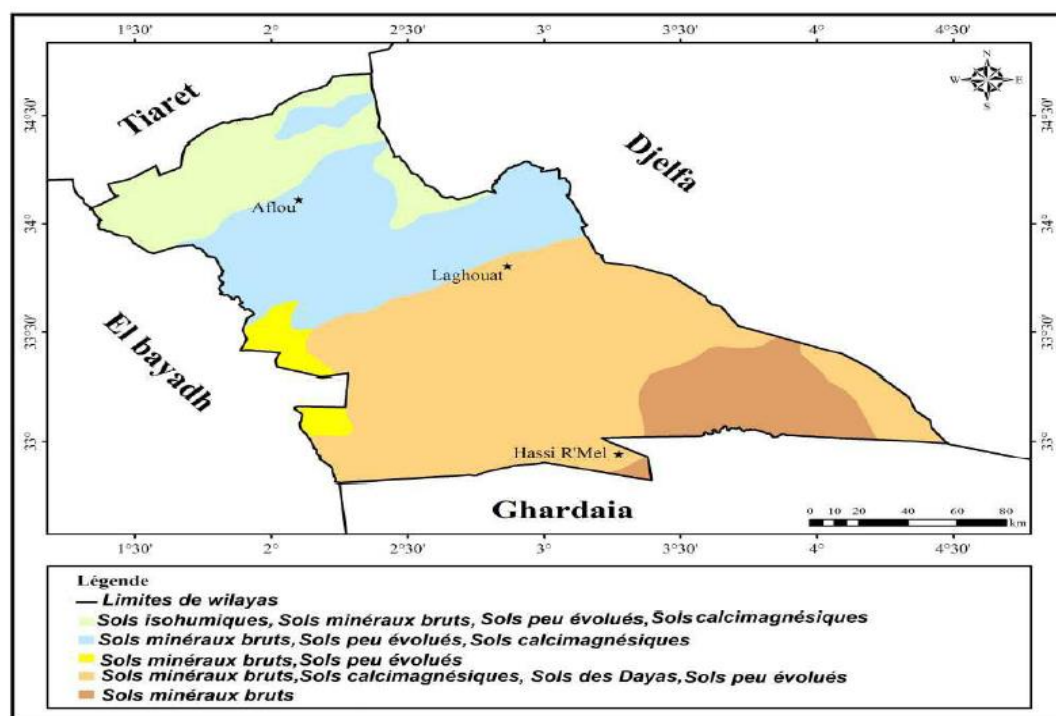
Les sols des zones arides ont été décrits par plusieurs auteurs. Ils sont en général pauvres en humus, fragiles et peu profonds. La formation des sols est influencée non seulement par des précipitations insuffisantes mais aussi par une évaporation élevée.

D'après Houyou (2015), il est assez difficile de présenter de façon claire les domaines pédologiques de la wilaya de Laghouat. Ceci tient d'abord de l'importance de la taille de sa superficie globale. En outre les données pédologiques qui existent sur la wilaya de Laghouat sont relativement maigres et résultent en grande majorité d'un travail sous forme d'une prospection pédologique réalisée dans la wilaya sur 202 profils par BNEDER (2014), et d'une

carte des sols de l’Afrique élaborée en 1963 par l’institut géographique militaire de Bruxelles (CCTA, 1963 *in* Amrani, 2021).

La partie de cette carte qui traite les sols de l’Algérie, basés sur la classification française des sols où le facteur climatique joue un rôle essentiel dans la pédogenèse (vent, pluie, température) ensuite sur le degré de l’évolution du sol (nombre d’horizons différenciés), et sur le degré des lessivages (roche mère).

Selon Pouget (1980), Laghouat est considérée parmi les wilayat les plus riches sur le plan pédologique, en effet pratiquement tous les sols du Sud algérois cité par cet auteur sont rencontrés. Dans la partie qui couvre la wilaya de Laghouat (Figure 14), la carte montre une mosaïque dans laquelle cinq classes de sols sont dispersées (sols minéraux bruts, sols peu évolués, sols calcimagnésiques, sols isohumiques, et sols des dayas).



**Figure 14.** Carte des sols de la wilaya de Laghouat (Dérivée de CCTA, 1963 *in* Amrani, 2021)

## 2.5. Etude bioclimatique

Le climat est l’un des facteurs les plus déterminants du milieu naturel, notamment dans le développement du couvert végétal.

Le climat joue un rôle fondamental dans la distribution et la vie des êtres vivants. Il dépend de nombreux facteurs : vent, lumière, atmosphère, relief et nature du sol, voisinage ou éloignement de la mer (Faurie *et al*, 2003).

Dans la région des Hauts Plateaux, le climat est de type saharien et aride. La pluviométrie varie ente 150 mm au Centre et 50 mm au Sud. Les hivers sont caractérisés par des gelées blanches et les étés par une forte chaleur accompagnée de vents de sable.

### 2.5.1. Précipitations

À partir des données enregistrées sur une période de 40 ans (1981-2020) (Tableau 1), on constate que le cumul annuel des précipitations moyennes est d'environ 169,45 (mm) à Ben Nacer Ben Chohra.

**Tableau 1.** Les précipitations moyennes mensuelles enregistrées à Ben Nacer Ben Chohra de 1981 à 2020 (MERRA-2, 2022).

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Cumul annuel
<b>P (mm)</b>	16,23	11,04	14,26	18,49	15,81	08,40	04,75	12,32	21,57	19,83	14,74	12,06	<b>169,45</b>

On constate aussi que le mois de Septembre est le mois le plus pluvieux à Ben Nacer Ben Chohra avec une moyenne mensuelle de 21,5 mm, et Juillet est le mois le plus sec avec une moyenne mensuelle de 04,75 mm.

### 2.5.2. Le régime saisonnier des précipitations

**Tableau 2.** Régime saisonnier de la région de Ben Nacer Ben Chohra

Répartition saisonnière des précipitations (mm)				Type du régime	Précipitations annuelles (mm)
Hiver (H)	Printemps (P)	Été (E)	Automne (A)		
39,33	48,55	25,47	56,12	<b>APHE</b>	169,45

Selon le tableau 2, le régime saisonnier de la région d'étude est de type APHE. La répartition saisonnière des précipitations de cette région montre que l'automne est la saison la plus pluvieuse, et l'été correspond à la saison la plus sèche. Au-delà des moyennes enregistrées, leur distribution annuelle à travers les saisons est assez irrégulière, entraînant ainsi un impact défavorable sur le développement et la croissance des cultures.

### 2.5.3. Températures

La température influence considérablement sur la végétation, elle est l'élément climatique le plus important dans l'aire de répartition des végétaux sur le globe.

**Tableau 3.** Les températures moyennes mensuelles enregistrées à Ben Nacer Ben Chohra entre 1981 et 2020 (MERRA-2, 2022)

MOIS	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
TM(C°)	19,45	21,97	26,16	30,32	35,38	39,93	41,62	41,19	37,38	31,51	24,81	20,282
Tm(C°)	-1,96	-2,19	-0,76	2,62	6,77	12,47	18,19	18,16	12,33	6,75	1,17	-1,81
M+m/2	8,74	9,89	12,70	16,47	21,08	26,2	29,90	29,67	24,86	19,13	12,99	9,23

Selon le tableau 3, les températures les plus basses sont enregistrées durant le mois de janvier dans la région d'étude, avec une température moyenne mensuelle de 8,74 °C. Tandis que le mois de juillet est le mois le plus chaud dans la région d'étude avec une température moyenne mensuelle de 29,90 °C.

En outre, si on considère que les gelées s'observent lorsque les températures minimales sont inférieures à 0 °C, la période des gelées s'installe donc dans cette région du mois de décembre jusqu'au mois de mars.

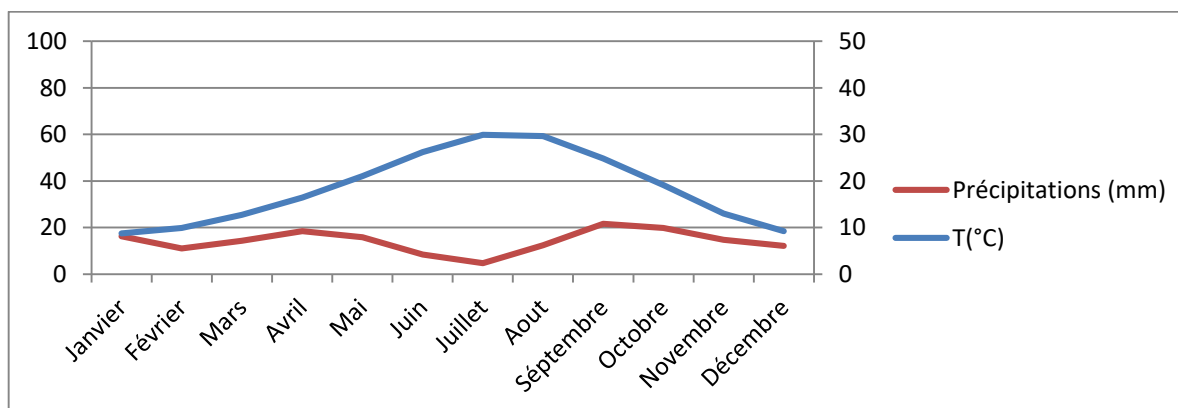
#### 2.5.4. Synthèse bioclimatique

Les différents facteurs climatiques n'agissent pas indépendamment les uns des autres, pour tenir compte de cela, divers indices ont été calculés, principalement dans le but de rendre compte de la répartition des types de végétation. Les indices les plus employés utilisent la température et la pluviosité, qui sont les facteurs les plus importants et les mieux connus.

##### a- Diagramme ombrothermique

D'après Bagnouls et Gaussen (1953), un mois est sec lorsque les précipitations en millimètres sont inférieures ou égales au double de la température moyenne mensuelle en degrés Celsius ( $p \leq 2T$ ).

À partir du diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) de la figure 15, on remarque que la région de Ben Nacer Ben Chohra ne présente aucune saison humide ; elle est marquée au contraire par une saison sèche qui s'étale sur toute l'année.



**Figure 15.** Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la région Ben nacer Ben chohra

**b- Climagramme d'Emberger**

Le climagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude, il est représenté en abscisses par la moyenne des minima des températures du mois le plus froid et en ordonnées par le quotient pluviothermique Q2 ; mais actuellement on calcule le quotient pluviothermique d'Emberger (Q2) selon la formule modifiée par Stewart (1969) :

$$Q2 = 3,43 \times P/M-m$$

- **Q2** = Quotient pluviothermique d'Emberger.
- **P** = Pluviométrie moyenne annuelle exprimée en mm.
- **M** = Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud exprimée en °C.
- **m** = Moyenne des températures minima du mois le plus froid exprimée en °C.

Afin de déterminer l'étage bioclimatique de la région de Ben Nacer Ben Chohra et le situer dans le climagramme d'Emberger, on a calculé le quotient pluviothermique pour cette région :

$$m = -2,19$$

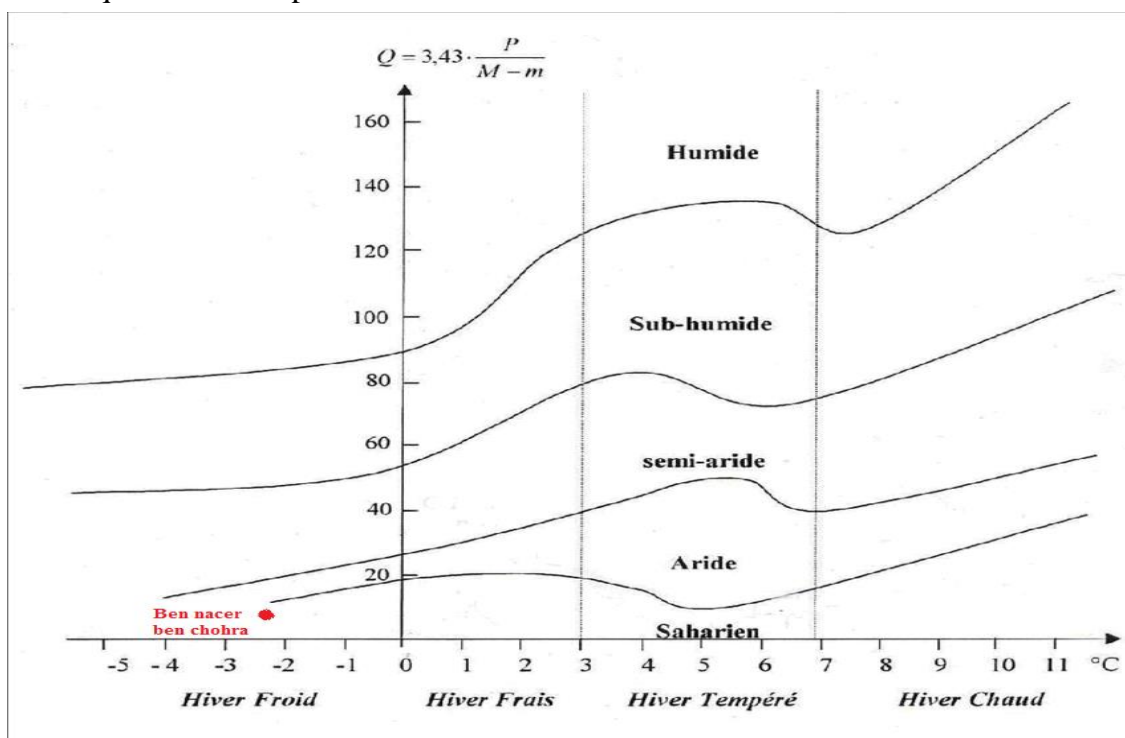
$$M = 41,62$$

$$Q2 = 3,43 \times P/M-m$$

$$Q2 = 3,43 \times 169,45/41,62 + 2,19 = 13,27$$

$$Q2 = 13,27$$

D'après la figure 16, la région de Ben Nacer Ben Chohra se situe dans un étage bioclimatique saharien supérieur à hiver froid.



**Figure 16.** Climagramme d'Emberger de la région de Ben Nacer Ben Chohra

---

---

## **CHAPITRE 3**

---

---

### Matériels et Méthodes

### 3.1. Objectif du travail

Cette étude vise à évaluer les pertes mécaniques du rendement de la matière sèche de la première coupe de la luzerne pérenne de l'année 2025 située au mois d'avril dans la commune de Ben Nacer Benchohra, qui est une région à climat aride appartenant à la wilaya de Laghouat. Ces pertes que nous allons évaluer sont dues à la chaîne de récolte (la fauche, le râtelage, et le pressage) adopté par la totalité des agriculteurs de la wilaya de Laghouat cultivant cette culture fourragère.

### 3.2. Matériel végétal

Le matériel végétal étudié est la luzerne pérenne cultivée (*Medicago sativa* L.). Nous avons choisi deux champs de cette espèce fourragère géré par deux agriculteurs différents : le premier champ a une superficie de 1,4 ha implanté par la variété CUF 101 âgée de 2 ans ; le deuxième a une superficie de 3,8 ha implanté par la variété Speed âgée de 4 ans. Ces deux champs sont irrigués régulièrement par un système de rampes d'aspersion à déplacement manuel.



Figure 17. Champ de luzerne étudié (Photo originale, 2025)

### 3.3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental que nous avons adopté est divisé en deux phases. Dans la première phase, nous visons à quantifier le rendement de la matière sèche réelle de la luzerne pérenne ; tandis que dans la deuxième phase, nous visons à estimer le rendement de la matière sèche récoltée par les deux agriculteurs. En tenant compte des différents types de pertes occasionnées durant la période de séchage de la luzerne dans les deux champs, nous pouvons déduire par la suite le taux des pertes mécaniques pour chaque champ. Toutes ces démarches vont être détaillées dans les étapes suivantes.

### 3.3.1. Quantification du rendement de la matière sèche réelle

Tout d'abord, nous avons estimé le rendement de la matière verte par hectare en choisissant 5 endroits aléatoirement dans chaque champ. Pour cela, avant que l'agriculteur va faucher son luzernière de 2 à 3 jours, nous avons fauché dans chaque endroit choisi une superficie de 1 m<sup>2</sup> de la luzerne à une hauteur de coupe la même effectuée par l'agriculteur (3 à 5 cm). La matière verte ainsi fauchée dans chaque 1 m<sup>2</sup> (Figure 18) a été pesée à l'aide d'une balance portative électronique (Figure 19), puis nous avons prélevé à peu près 500 g de la luzerne verte fauchée de chaque 1 m<sup>2</sup> pour constituer un échantillon composite pesant 3 kg environ.



**Figure 18.** Superficie de 1 m<sup>2</sup> de luzerne avant et après la fauche (Photos originales, 2025)



**Figure 19.** Matière verte de 1 m<sup>2</sup> fauchée et pesée (Photos originales, 2025)

Cet échantillon a été ensuite mélangé manuellement pour en extraire enfin deux sous échantillons représentatifs pesant chacun 1 kg. Chaque sous échantillon a été ensuite séché dans un endroit à l'abri d'une éventuelle précipitation et exposé à l'air libre afin que le séchage soit dans les mêmes conditions que celle effectué sur le champ.

Après 7 jours de séchage, nous avons pesé la matière sèche restée du premier sous échantillon afin de déduire la matière sèche réelle sans aucunes pertes. Le rendement de la matière sèche réelle a été calculée selon les étapes suivantes :

▪ **Rendement de la matière verte par hectare :**

$$\text{Rendement de MV/ha} = \frac{\sum \text{Poids de MV dans chaque } 1\text{m}^2}{5} \times 10000$$

▪ **Rendement de la matière sèche restée par hectare :**

Rendement de MS restée/ha = (Poids de MS restée après séchage de 1 kg de MV) × (Rendement de MV/ha)

▪ **Rendement de la matière sèche réelle par hectare :**

Rendement de MS réelle/ha = (Rendement de MS restée/ha) + (Poids de MS oxydée/ha)

▪ **Le poids de la matière sèche oxydée** par respiration est calculé à partir des résultats publiés par Honig (1979) *in* Moser (1995) et figurés dans le tableau 4. Ces résultats signifient que le taux de matière sèche oxydée par respiration dans une heure est en fonction de la température de l'air ainsi que la teneur en eau du fourrage en cours de séchage.

**Tableau 4.** Perte de matière sèche par respiration selon la température de l'air et la teneur en eau du fourrage (%/heure) (Honig, 1979 *in* Moser, 1995)

T (°C)	Teneur en eau (%)							
	80	70	60	50	40	30	20	10
10	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
20	0,19	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03
30	0,33	0,27	0,22	0,18	0,15	0,11	0,08	0,05

En outre, après un séchage de 7 jours du deuxième sous échantillon, nous avons pesé séparément les feuilles et les tiges afin de déduire leur taux par rapport au poids total de la matière sèche restée.

$$\text{Taux de MS des feuilles} = \frac{\text{Poids de MS des feuilles}}{\text{Poids total de la MS restée}} \times 100$$

$$\text{Taux de MS des tiges} = \frac{\text{Poids de MS des tiges}}{\text{Poids total de la MS restée}} \times 100$$

Finalement, nous avons broyé finement et séparément la matière sèche tiges + feuilles, la matière sèche feuilles, et la matière sèche tiges. Ces trois échantillons broyés finement vont être l'objet d'une analyse biochimique afin de connaître le taux des protéines brutes.

### 3.3.2. Estimation du rendement de la matière sèche récoltée par l'agriculteur

Le rendement de la matière sèche récoltée par l'agriculteur est estimé en tenant compte le nombre des bottes du fourrage par hectare obtenues par l'agriculteur le jour du pressage (Figure 20) ainsi que le poids moyen réel d'une seule botte obtenu en pesant 10 bottes choisies au hasard sur le champ. Le poids moyen réel d'une botte est obtenu en soustrayant le poids des adventices à partir du poids moyen d'une botte des 10 bottes choisies.

$$\text{Poids moyen d'une botte} = \frac{\sum \text{du poids des 10 bottes}}{10}$$

$$\text{Nombre de bottes/ha} = \frac{\sum \text{Nombre total des bottes récoltées}}{\text{Superficie totale du champ}}$$

$$\text{Rendement de MS récoltée/ha} = (\text{Nombre de bottes/ha}) \times \text{Poids moyen réel d'une botte}$$



**Figure 20.** Bottes du foin de luzerne récoltées sur un champ d'étude (Photo originale, 2025)

### 3.3.3. Calcul du taux des pertes mécaniques

Les pertes mécaniques du foin de la luzerne au champ sont celles occasionnées par la chaîne de récolte réalisée par l'agriculteur. Elles sont déduites par la façon suivante :

$$\text{Taux de MS réelle} = \text{Taux de MS récoltée} + \text{Taux de MS oxydée} + \text{Taux de MS lessivée} + \text{Taux de pertes mécaniques de MS}$$

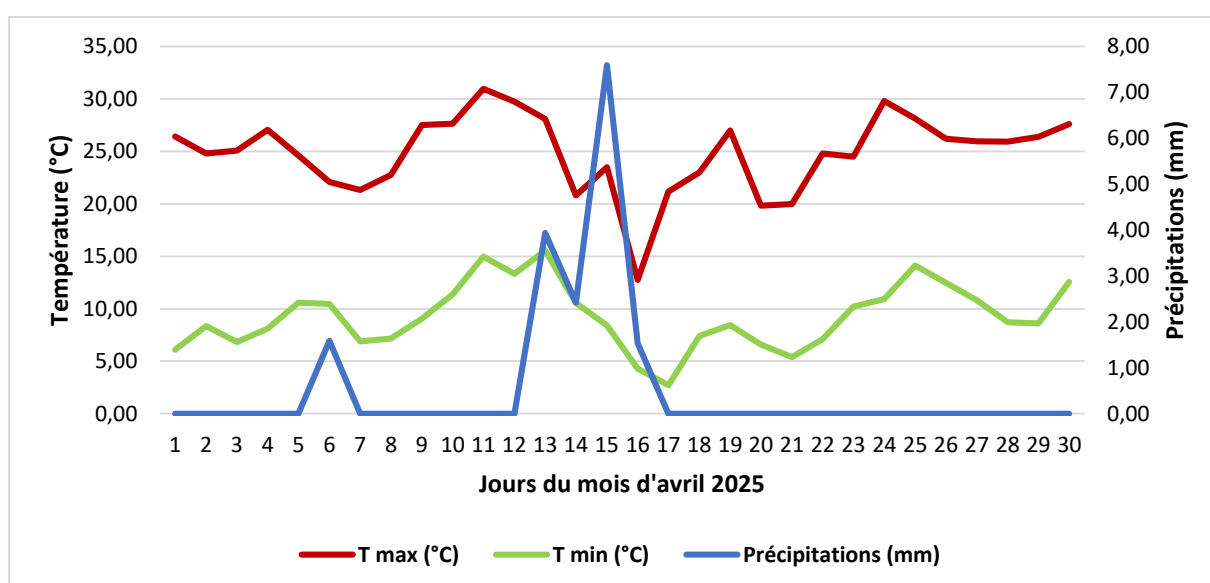
$$\text{Taux de pertes mécaniques de MS} = (\text{Taux de MS réelle}) - (\text{Taux de MS récoltée} + \text{Taux de MS oxydée} + \text{Taux de MS lessivée})$$

Le taux de la matière sèche oxydée par respiration est calculé durant les journées de séchage qui sont 5 sur les deux champs.

Il est à noter également que le taux de matière sèche lessivée est calculé seulement pour les journées pluvieuses sinon on doit le supprimer. Il est calculé d'après les estimations évoquées par Savoie *in* Piette (2002) qui dit :

- Une petite ondée de 2 à 3 mm entraîne une perte de 5 %.
- Une pluie moyenne de 10 à 15 mm entraîne une perte de 10 à 20 %.
- Une forte pluie prolongée de 25 à 30 mm entraîne une perte au-delà de 20 %

Les données climatiques servant à calculer les taux de matière sèche oxydée et lessivée sont représentées dans la figure 21. Ces données climatiques satellitaires fournies par Merra-2 sont corrigées par des formules de correction établies par Khoudiri *et al.* (2025).



**Figure 21.** Précipitations et températures minimales et maximales journalières du mois d'avril 2025

Le jour du pressage de la luzerne séchée au champ, nous avons choisi aléatoirement 10 bottes dans lesquelles nous avons enfoncé une longue sonde cylindrique à extrémité dentée afin de prélever un échantillon de la matière sèche récoltée par l'agriculteur (Figure 22). Ces échantillons prélevés de chacune des 10 bottes ont été mis ensemble dans un même sachet en plastique pour constituer un échantillon composite (Figure 23). Après être triées séparément, nous avons pesé les feuilles et les tiges pour connaître leur taux par rapport au poids total de l'échantillon composite sans prendre en compte le poids des mauvaises herbes. Les feuilles et les tiges ont été ensemble broyées finement afin de prélever un échantillon qui va être l'objet d'une analyse biochimique afin de connaître le taux des protéines brutes.



**Figure 22.** Prélèvement d'un échantillon de la matière sèche récoltée par une sonde cylindrique à extrémité dentée (Photos originales, 2025)



**Figure 23.** Mise des échantillons prélevés des 10 bottes dans un même sachet en plastique (Photo originale, 2025)

---

---

## **CHAPITRE 4**

---

---

### Résultats et Discussion

## 4.1. Résultats

### 4.1.1. Rendement de matière verte par hectare (RMV tonnes/ha)

Les résultats indiqués dans le tableau 5, montrent que le rendement de la matière verte de la luzerne dans le champ 1 est un peu supérieur à celle du champ 2. Ces résultats dépassent largement ceux obtenus par Hadj-Omar (2018). De même, le poids de la matière verte est plus homogène d'un point à un autre du champ 1 par rapport à celui du champ 2 (s du champ 1 < s du champ 2).

**Tableau 5.** Valeurs servant au calcul de la matière verte de la luzerne

	<b>Champ 1</b>	<b>Champ 2</b>
<b>Poids de MV de chaque 1 m<sup>2</sup> (kg)</b>	1,890	1,595
	2,320	2,875
	2,775	1,780
	2,380	1,450
	1,655	2,280
<b>Total (kg)</b>	11,02	9,98
<b>Poids moyen de MV (kg/m<sup>2</sup>)</b>	2,204 ± 0,44	1,996 ± 0,58
<b>RMV (tonnes/ha)</b>	22,040	19,960

### 4.1.2. Rendement de la matière sèche réelle (RMS réelle tonnes/ha)

La connaissance du rendement de la matière sèche réelle est une étape fondamentale pour mesurer le taux de pertes mécaniques à la récolte du foin de la luzerne au champ. La matière sèche réelle correspond au poids final resté après séchage de la plante (élimination de l'eau) mais sans aucunes pertes de sucres. Cette étape a été effectuée par nous-même dans des conditions similaires à celles du champ mais à l'abri des précipitations. Ainsi, le taux de la matière sèche restée par rapport à la matière verte totale est presque le même dans les deux champs, 27,5 et 26 % respectivement (Tableau 6). Le rapport de la matière sèche des feuilles sur celle des tiges est à peu près le même pour les deux champs ; il est de 0,74 et 0,8. Ce rapport qui paraît élevé dans les deux champs est un bon indicateur sur la valeur nutritive de la luzerne car la feuille est la partie de la plante la plus riche en éléments nutritifs. En outre, l'oxydation des sucres de la luzerne par respiration a fait baisser le taux de la matière sèche réelle de 10,2 et 9,8 % respectivement dans les deux champs durant 7 jours de séchage. De ce fait, puisque les pertes par respiration augmentent avec la durée d'exposition au champ, le meilleur moyen pour les réduire est de réaliser un séchage rapide (Amyot, 2003). Enfin, le rendement de la matière sèche réelle est de 6,749 t/ha dans le premier champ, et de 5,752 t/ha dans le deuxième

champ. Ce rendement représente 30,62 et 28,82 % du rendement de la matière verte respectivement dans les deux champs.

**Tableau 6.** Valeurs servant au calcul du rendement de la matière sèche réelle

	<b>Champ 1</b>	<b>Champ 2</b>
<b>RMV (t/ha)</b>	22,04	19,96
<b>Poids de MS restée (g/kg de MV)</b>	275	260
<b>RMS restée (t/ha)</b>	6,061	5,190
<b>Taux de MS restée par rapport à la MV (%)</b>	27,5	26
<b>Taux de MS des feuille (%)</b>	42,60	44,23
<b>Taux de MS des tiges (%)</b>	57,40	55,77
<b>Rapport (taux des feuilles/taux des tiges)</b>	0,74	0,8
<b>RMS restée (t/ha)</b>	6,061	5,189
<b>Taux de MS oxydée (%)</b>	10,2	9,8
<b>RMS réelle (t/ha)</b>	6,749	5,752
<b>Taux de MS réelle par rapport à la MV (%)</b>	30,62	28,82

#### 4.1.3. Rendement de la matière sèche récoltée par l'agriculteur

Le poids d'une botte à une autre du champ 2 semble hétérogène par rapport au champ 1 ( $s = 3,43$  au champ 2, contre  $1,96$  au champ 1). Cela est fort probablement dû au taux des adventices qui est très élevé au champ 2 par rapport au champ 1 (16,2 % contre 0,81 % respectivement). Le taux élevé des adventices au champ 2 fait baisser le poids moyen réel des bottes de 19,8 kg à 16,6 kg, ce qui s'est répercuté sur le rendement de la matière sèche récoltée qui est de 2,324 t/ha au champ 2 par rapport à 3,710 t/ha au champ 1 indemne presque de mauvaises herbes (Tableau 7).

**Tableau 7.** Valeurs servant au calcul du rendement de la matière sèche récoltée

	<b>Champ 1</b>	<b>Champ 2</b>
<b>Poids de chaque botte (kg)</b>	25	18
	21,5	28
	21	19
	21	18
	20	23
	23	17,5
	18	18

	19,5	16,5
	20	21
	20	19
<b>Total (kg)</b>	209	198
<b>Poids moyen d'une botte (kg)</b>	20,9 ± 1,96	19,8 ± 3,43
<b>Poids de l'échantillon composite (g)</b>	610	525
<b>Poids de l'échantillon composite sans adventices (g)</b>	605	440
<b>Taux de mauvaises herbes (%)</b>	0,81	16,2
<b>Poids moyen d'une botte sans adventices (kg)</b>	20,73	16,6
<b>Nombre de bottes/ha</b>	179	140
<b>RMS récoltée (tonnes/ha)</b>	3,710	2,324

#### 4.1.4. Taux des pertes mécaniques de la matière sèche

Le taux de la matière sèche oxydée par respiration a été calculé durant 5 journées de séchage pour les deux champs. Il diffère d'un champ à un autre parce que la date de la période de séchage n'est pas la même : il est en relation avec les températures maximale et minimale de la journée. En se référant à la figure 21 dans le chapitre 3, le taux de la matière sèche lessivée par les précipitations a été calculé seulement pour une journée au champ 1. Nous avons supprimé le calcul du taux de cette matière sèche dans le champ 2 car il n'y avait pas des précipitations durant toute la période de séchage. Ainsi, le taux des pertes mécaniques de la matière sèche est de 32 % au champ 1 et 48,68 % au champ 2 (Tableau 8 et Figure 24). Ce taux de pertes est largement supérieur au taux trouvé par plusieurs auteurs qui est de 5 % dans de bonnes conditions à 21 % dans de mauvaises conditions en excluant le taux de perte dû à la hauteur de fauche et le taux de perte dû au fanage (Honig, 1980 ; Koegel *et al.*, 1985 ; Rotz et Abrams, 1988 ; Savoie *et al.*, 2012). Ce taux élevé de pertes mécaniques de la matière sèche est fort probablement dû aux équipements anciens qui sont destinés à la chaîne de récolte du foin de la luzerne. Les agriculteurs de cette région ne semblent pas au courant des équipements modernes qui sont innovés spécialement pour minimiser ces pertes. D'un autre côté, ces pertes pourraient être dues aux équipement mal réglés et mal entretenus.

**Tableau 8.** Valeurs servant au calcul du taux des pertes mécaniques de la matière sèche

	<b>Champ 1</b>	<b>Champ 2</b>
<b>Taux de la MS réelle (%)</b>	100	100
<b>Taux de la MS oxydée (%)</b>	8,94	10,92
<b>Taux de la MS lessivée (%)</b>	4	0

Taux de la MS récoltée (%)	55	40,40
Taux des pertes mécaniques (%)	32	48,68



**Figure 24.** Pertes mécaniques très visibles sur le champ de la luzerne fauchée (Photo originale, 2025)

#### 4.1.5. Taux des pertes des protéines brutes (PB)

Le taux des protéines brutes est obtenu en multipliant le taux d'azote trouvé dans l'échantillon végétal par un coefficient de conversion qui est de 6,25. Le taux des pertes des protéines brutes dans les feuilles + tiges de la matière sèche récoltée est de 2,45 % au champ 1 et 1,61 % au champ 2 par rapport à la matière sèche réelle (Tableau 9). Globalement, le taux des pertes des PB est plus élevé au champ 2 qu'au champ 1 car le taux des pertes mécaniques de la matière sèche au champ 2 est plus important qu'au champ 1. En réalité, les pertes des PB sont liées principalement aux pertes mécaniques des feuilles de la luzerne. Les feuilles sont la partie la plus riche en protéines brutes dans la luzerne et sont les plus exposées aux pertes mécaniques pendant la récolte du foin de cette plante fourragère car elles sont fragiles et se détachent facilement des tiges lors des différentes étapes de la récolte.

**Tableau 9.** Valeurs servant au calcul du taux des pertes de protéines brutes

	Champ 1	Champ 2
% de N dans la MS réelle F	3,752	4,077
% de PB dans la MS réelle F	23,45	25,48
% de N dans la MS réelle T	1,624	1,937
% de PB dans la MS réelle T	10,15	12,11
% de N dans la MS réelle F+T	3,013	2,8
% de PB dans la MS réelle F+T	18,83	17,5
% de N dans la MS récoltée F+T	2,621	2,542
% de PB dans la MS récoltée F+T	16,38	15,89
Taux des pertes des PB (%)	2,45	1,61

## 4.2. Discussion

Globalement, les résultats indiquent une meilleure performance de la variété CUF 101 âgée de 2 ans, par rapport à la variété Speed de 4 ans, dans des conditions d'irrigation similaires et pour une même période de coupe. Ces résultats soulignent l'importance de renouveler les peuplements au bon moment pour maintenir une productivité élevée, et de choisir des variétés adaptées et vigoureuses. La baisse du rendement observée dans le champ 2 peut également inciter à envisager le remplacement du peuplement dans les années à venir.

Les résultats obtenus confirment également que le champ 1 est plus performant que le champ 2, non seulement en matière verte, mais également en matière sèche réelle, critère essentiel pour l'alimentation animale. Les différences peuvent être attribuées à l'âge du peuplement, à la vigueur variétale, à la structure morphologique des plantes et à la capacité de rétention de matière sèche. Ces résultats suggèrent que, pour maximiser le rendement en MS, il est préférable : de maintenir les peuplements jeunes et d'envisager un renouvellement autour de la 3<sup>ème</sup> ou 4<sup>ème</sup> année ; de choisir des variétés à haut potentiel de conversion MV → MS ; et d'optimiser les pratiques de fauche et de séchage pour limiter les pertes par respiration.

En outre, les résultats montrent que le champ 1 est nettement plus performant en matière de rendement de MS récoltée par hectare, en raison : d'un meilleur état sanitaire (faibles adventices) ; d'une meilleure régularité de bottelage ; et d'un rendement de départ plus élevé. Le champ 2 souffre d'un niveau élevé d'adventices et d'un rendement faible, ce qui impacte directement le résultat final. Ces résultats soulignent l'importance d'un bon entretien cultural, de réglages précis du matériel de pressage, et d'un renouvellement régulier des peuplements pour optimiser la quantité de matière réellement valorisable.

Par conséquent, les résultats montrent que les pertes mécaniques de matière sèche sont un facteur critique dans la rentabilité du foin de luzerne : le champ 1, grâce à un meilleur état du couvert, un matériel probablement mieux utilisé, et une gestion efficace, a limité les pertes à 32 %, malgré un lessivage de 4 %. Le champ 2, en revanche, subit des pertes très importantes (près de 49 %), ce qui traduit une inefficience majeure des opérations de récolte, aggravée par un vieillissement du peuplement et une forte infestation d'adventices.

De même, les résultats confirment que : Le champ 1 produit un foin de meilleure qualité nutritionnelle, avec une teneur en protéines plus élevée, tant dans la matière sèche réelle que dans la matière sèche récoltée. Cependant, la perte en qualité due aux opérations de récolte est plus importante dans ce champ, soulignant la nécessité de réduire les pertes de feuilles pour préserver les protéines. Le champ 2, bien que présentant une moindre baisse relative du taux de PB, offre une qualité globale inférieure, en lien avec un peuplement plus âgé, une structure plus fibreuse et une proportion plus faible de feuilles.

---

---

# CONCLUSION

---

---

## CONCLUSION

L'analyse de cette étude met en lumière l'importance cruciale des conditions de récolte du foin de la luzerne. Pour les deux champs de luzerne que nous avons étudiés, les écarts entre le rendement potentiel de matière sèche et le rendement effectivement récolté par les agriculteurs concernés soulignent combien chaque détail compte, depuis le moment de la coupe jusqu'au pressage final du foin.

Dans le premier champ, ce qui a surtout impacté le rendement récolté, ce sont les pertes mécaniques, probablement dues à une gestion imparfaite de la chaîne de récolte, ainsi que les pertes par respiration cellulaire dues à une durée de séchage un peu prolongée.

Dans le deuxième champ, c'est la présence massive de mauvaises herbes qui semble avoir influé négativement sur le poids réel des bottes du foin récolté. À cela s'ajoutent des pertes mécaniques importantes, et des pertes par respiration de même degré que le champ 1.

Quoique les pertes par lessivage n'avaient pas un impact considérable dans cette étude, mais en réalité elles peuvent réduire significativement la matière sèche si des fortes pluies surviennent durant la période de séchage du foin au champ. La seule méthode d'écarter ces pertes, c'est de planifier la chaîne de récolte durant des jours de beau temps en suivant les prévisions météorologiques à l'avance.

Ce travail rappelle enfin, que l'amélioration du rendement ne dépend pas uniquement du potentiel agronomique de la plante. Elle passe aussi, et surtout, par une gestion technique rigoureuse, une bonne planification des étapes, et un soin particulier à accorder à la qualité des équipements utilisés afin de réduire au maximum le taux des pertes mécaniques du foin de la luzerne.

Les recommandations que nous pouvons ressortir à partir de cette étude sont :

- Planifier la récolte en tenant compte des prévisions météorologiques afin d'éviter les pluies post-coupe.
- Réduire le temps de séchage au champ pour limiter les pertes respiratoires.
- Utiliser un matériel de récolte adapté, moins agressif envers les feuilles.
- Former les agriculteurs à des techniques de récolte optimales pour minimiser les pertes.
- Étendre cette étude à d'autres régions et d'autres variétés pour comparer les résultats.

---

---

## **Références bibliographiques**

---

---

## Références bibliographiques

**Amrani O. 2021.** Etude floristique et nutritive, spatiotemporelles, des principales plantes vivaces des parcours steppiques, naturels et aménagés, de la région de Laghouat. Thèse Doctorat es-Sciences en Sciences Agronomiques. Université de Kasdi Merbeh Ouargla. Algérie. 164 p.

**Amyot A. 2003.** Bien comprendre ce qui se passe dans les fourrages, du champ... à l'animal, un atout pour améliorer sa régie. Colloque régional sur les plantes fourragères. Direction régionale de la Chaudière-Appalaches. 24 p.

**Bagnouls F. et Gausсен H. 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. Bull. soc. hist. nat. Toulouse, France. pp 193-239.

**Benabderrahmane M., Zine S., Merad B. 2014.** Évaluation agronomique de quelques variétés de luzerne au sud algérien. *Revue des Bioressources*, 4(1) : 45–52.

**BNEDER. 2014.** Analyse de l'aptitude à la culture de l'olivier des sols de la région de Laghouat. Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural (BNEDER). 202 p.

**Bouaboub-Mossab K. 2001.** Comportement de variétés et populations de luzerne pérenne *Medicago sativa* L. dans la région d'Adrar. Mémoire de Magister en Agronomie, université de l'INA El-Harrach Alger. Algérie.

**Buckmaster D. R. 1993.** Alfalfa raking losses as measured on artificial stubble. *American Society Engineers*, 36: 645-651.

**Daoudi A., Colin J.-Ph. et Baroud K. 2021.** La politique de mise en valeur des terres arides en Algérie : une lecture en termes d'équité. *Cah. Agric.* 30, 4.

**Emberger J. 1960.** Esquisse géologique de la partie orientale des monts d'Ouled Nails. Publication du service de la carte géologique de l'Algérie. Bulletin 27. Nouvelle série. 399 p.

**Fares S. 2008.** Valorisation de la fixation de l'azote par des souches de rhizobiums autochtones et introduites associées à *Medicago sativa* en zone semi-aride. : Mémoire de Magistère sur Exploitation des interactions plantes-microorganisme, Université d'Oran "ES-SENIA". Algérie.

**Faurie et al. 2003.** Ecologie approche scientifique et pratique. 5ème édition. Paris : Lavoisier. 404 p.

**Genier G., Guy P. et Prosperi J.M. 1992.** Les luzernes. Amélioration des espèces végétales cultivées. Edition Gallais A. et Bannerot H. INRA, Paris. pp.323-338.

**Hadj-Omar K., Nabi M., Kaidi R. et Abdelguerfi A. 2018.** Evaluation du rendement et de la composition chimique de plusieurs variétés de luzerne pérenne cultivées en sec et en irrigué dans la Mitidja. *Agrobiologia*, 8 (1) : 931-940.

**Hannachi A. 1981.** Relation entre aquifères superficiels et profonds : Hydrogéologie de la vallée d'oued M'zi à l'Est de Laghouat. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble. 121 p.

**Honig H. 1980.** Mechanical and respiration losses during pre-wilting of grass. Occasional Symp. No. 11: 201-204. Hurley, Maidenhead, Berkshire, British Grassland Society.

- Houyou Z. 2015.** Impact de la mise en culture en pluvial sur la dégradation du sol par érosion éolienne dans la steppe centrale (cas de la région de Laghouat). Thèse Doctorat, USTHB, Alger. 168 p.
- I.A.P. 1972.** Notice explicative de la carte géologique à 1/200.000 de Laghouat. Institut du pétrole Algérien. Rapport collectif dirigé par le professeur J.Guillemot. 110 p.
- Jafari A. et Naseri L. 2007.** Genetic variation and heritability for forage yield and quality in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Euphytica*, 158(3) : 333–344.
- Khoudiri F., Benchettouh A., Benaceur F. 2025.** Toward more efficiency of some MERRA-2 reanalysis products in the central Algerian steppe: Zahrez watershed case. *Euro-Mediterr J Environ.*
- Koegel R.G., R.J. Straub and R.P. Walgenbach. 1985.** Quantification of mechanical losses in forage harvesting. *Trans. ASAE.*, 28 (4) : 1047-1051.
- Mc Gechan M. B. 1989.** A review of losses arising during conservation of grass forage: Part 1, Field losses. *J. Agric. Eng. Res.*, 44: 1-21.
- Mehiri A. et Zahouani A. 2018.** Variabilité intra-parcellaire chez la rhizosphère d'un sol cultivé de luzerne (*Medicago sativa* L.) dans la région de Ghardaïa (Cas de El' Atteuf). Université de Ghardaïa : Mémoire de Master, Ecologie et environnement. Algérie.
- MERRA 2. 2022.** Données climatiques de la commune de Ben Nacer Ben Chohra, wilaya de Laghouat tirées de site NASA Power Data.
- Monjauze A. 1968.** Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* en Algérie, Bulletin de la Société d'histoire naturelle d'Afrique du Nord. Tome 56- 2. 128 p.
- Moser L. E. 1995.** Post-harvest physiological changes in forage plants, p. 1-19. *In* Post-harvest physiology and preservation of forages. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, CSSA Special publication 22, Madison, Wisconsin, USA.
- Piette A. 2002.** On fane ou on ne fane pas. Le Bulletin des agriculteurs. Juillet-août : 41.
- Pouget M. 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algérois. Document de l'ORSTOM, Paris. 555 p.
- Putnam D. H., Orloff S. B., Lanini W. T. 2001.** Alfalfa: A sustainable crop for the future. UC ANR.
- Rita A. M. M., Julier B., Pecetti L., Thami-Alami I., Abbas Kh., et al. 2017.** La culture de la luzerne dans un climat méditerranéen. 19 p. hal-0159465.
- Robert P. et al. 2009.** La luzerne, une plante essentielle pour préserver la qualité de la ressource en eau. L'eau, l'industrie, les nuisances, Vol. N° 351. 57-60.
- Rotz C. A. and Abrams S. M. 1988.** Losses and Quality Changes During Alfalfa Hay Harvest and Storage. *TRANSACTIONS of the ASA*, 31 (2) : 350-355.
- Rotz C. A. et Muck R. E. 1994.** Changes in forage quality during harvest and storage. Proceedings of the National Alfalfa Symposium.
- Savoie Ph. 1987.** Doit-on faner le foin ? Le Bulletin des Agriculteurs. Juin : 32-36.

**Savoie Ph., Allard G., Beaugerard G., et al. 2002.** Guide sur la production de foin de commerce. Conseil Québécois des plantes fourragères, Québec, Canada. 33 p.

**Savoie Ph., Tremblay G. et Morissette R. 2012.** Méthodes pour réduire les pertes durant la récolte et la conservation des fourrages. 36<sup>ème</sup> Symposium sur les bovins laitiers. CRAAQ. Québec. Canada. 12 p.

**Stewart Ph. 1969.** Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique : quelques réflexions. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord.* T. 59: 23-36, Alger.

**Tricart J. 1969.** Le modèle des régions sèches. Sedes, Paris. 472 p.

### **Sites web :**

[www.depositphotos.com](http://www.depositphotos.com). Consulté le 07/07/2025.

[www.flickr.com](http://www.flickr.com) : Consulté le 10/04/2025.

[www.infoflora.ch](http://www.infoflora.ch) : Consulté le 10/04/2025.

[www.lagazettedesplantes.com](http://www.lagazettedesplantes.com) : Consulté le 10/04/2025.

[www.fr.wikipedia.org](http://www.fr.wikipedia.org) : Consulté le 10/04/2025.

[www.spotifarm.fr](http://www.spotifarm.fr) : Consulté le 20/04/2025.

[www.laterre.ca](http://www.laterre.ca) : Consulté le 25/04/2025.

[www.krone-agriculture.com](http://www.krone-agriculture.com) : Consulté le 25/04/2025.

[www.bioactualites.ch](http://www.bioactualites.ch) : Consulté le 25/04/2025.

[www.kuhn.com](http://www.kuhn.com) : Consulté le 25/04/2025.

[www.ics-agri.com](http://www.ics-agri.com) : Consulté le 25/04/2025.