

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AMAR THELIDJI- LAGHOUAT
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Mémoire de fin d'études en vue d'obtention
du diplôme de Master en Agronomie
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Option : Amélioration Des Plantes

Thème

ANALYSE DE L'EFFET DE LA NATURE CHIMIQUE DU
SUBSTRAT SUR LA GERMINATION-LEVEE D'UNE CULTURE
FOURRAGERE (*Medicago sativa L*)

Présenté par :

MODEBBER Marwa Rima

Jury :

Mr BENCHETTOUH A.	MCB	Président
Mr SARIDI A-K.	MAA	Examineur
Mme HOUYOU Z.	MCA	Encadreur
Mme MALLEM H.	MCB	Co-Encadreur

Promotion : Juin 2020

Sommaire

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

DEDICACES

RESUME

ABSTRACT

ملخص

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE D'ABREVIATION

INTRODUCTION..... 1

I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE 3

I.1 - GENERALITES SUR LA LUZERNE..... 3

I.2 - ORIGINE ET DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DE LA LUZERNE..... 3

I.3 - TAXONOMIE ET CLASSIFICATION BOTANIQUE DE LA LUZERNE..... 4

I.4 - MORPHOLOGIE DE LA LUZERNE 4

I.4.1 - La racine de la luzerne 5

I.4.2 - La tige..... 5

I.4.3 - Fleur 5

I.4.4 - Fruits 6

I.4.5 - Cycle de vie..... 6

a. Phase végétative..... 6

b. Phase reproductrice 6

I.4.6 - Cycle de développement 6

I.5 - EXIGENCES DE LA LUZERNE..... 7

a. Facteur climatique..... 7

b. Facteur édaphique 7

I.6 - LA RECOLTE DE LA LUZERNE 8

I.7 - IMPORTANCE AGRONOMIQUE DE LA LUZERNE 8

I.8 - IMPORTANCE ECOLOGIQUE DE LA LUZERNE..... 9

I.9 - IMPORTANCE SOCIOECONOMIQUE..... 9

II. MATERIELS ET METHODES 10

II.1 - LE MATERIEL VEGETAL 10

II.2 - PROTOCOLE EXPERIMENTAL..... 10

II.2.1	SUBSTRATS ET CONCENTRATIONS UTILISEES	10
II.3	JUSTIFICATION DES CHOIX POUR LES CONCENTRATIONS UTILISEES DURANT LE TEST	12
II.4	LES PARAMETRES MESURES	13
II.4.1	Taux de germination.....	13
II.4.2	La durée médiane de germination	13
II.4.3	Moyenne journalière de germination (MDG= Mean Daily Germination)	13
II.4.4	Longueur des radicules et longueur des glumelles	13
II.4.5	La vitesse de croissance	14
II.4.6	Indice de vigueur (IV).....	14
II.4.7	Dosage de la proline accumulée dans les feuilles de la plante	15
II.5	ANALYSES STATISTIQUES DES DONNEES	15
III.	RESULTATS & DISCUSSION	16
III.1	RESULTATS	16
III.1.1	Suivi de la dynamique et du taux de germination des graines de <i>Medicago sativa</i>	16
III.1.2	Longueur des glumelles et longueur des radicules.....	18
III.1.3	Vitesse de croissance	20
III.1.4	La Durée médiane de germination	22
III.1.5	La Germination journalière moyenne	23
III.1.6	L'indice de Vigueur	24
III.1.7	Proline accumulée dans les glumelles	25
III.1.8	Analyse en composante principale (ACP)	26
III.2	DISCUSSION	27
	CONCLUSION.....	31
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	34
	WEB GRAPHIE.....	36

Remerciements

Tout d'abord je remercie Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

*Ma plus grande gratitude va à ma promotrice **Mme HOUYOU Zohra** pour avoir accepté de m'encadrer pour mon projet de fin d'études, pour sa disponibilité et sa rigueur, et la confiance qu'elle m'a accordée. J'ai profité pendant mon stage du savoir et du savoir-faire dont j'ai pu bénéficier au cours de nombreuses discussions. J'aimerais aussi la remercier pour l'autonomie qu'elle m'a accordée, et ses précieux conseils et ses critiques qui m'ont permis de mener à bien ce travail.*

*Je suis tout particulièrement reconnaissante envers ma Co-promotrice **Mme MALLEM Hamida** pour son soutien, ses orientations et ses conseils.*

J'adresse mes sincères remerciements au personnel du laboratoire du département d'Agronomie, qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches.

*Je voudrais également remercier les membres du jury **Mr BENCHETTOUH Ahmed** et **Mr SARIDI Abdelkader** pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et pour avoir accepté de l'évaluer.*

*J'exprime toute ma reconnaissance et gratitude à l'administration et à l'ensemble du corps enseignant de l'Université Amar **THELIDJI- LAGHOUAT** pour leurs efforts à nous garantir la continuité et l'aboutissement de ce programme de Master.*

A tous ceux qui ont participé de près ou loin pour la réalisation de ce travail.

En fin je tiens à remercier mes camarades de la promotion.

Dédicaces

Que ce travail témoigne de mes respects :

*A ma très chère mère **BOKRETA Aziza** qui a toujours été là pour moi, et qui m'a encouragé. « Tu as tout sacrifié pour tes enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Tu m'as donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fière ». Que dieu la protège.*

*A la mémoire de mon cher père **Belkacem.M Allah yerhemo***

*A ma sœur **Radia** et mes frères **Redwan** et **Redha** pour leur encouragement leur aide et leur présence.*

*A mes cousines : **Imane.B, Asma, Rania, Sekoura, Chahinez et Sawsen.***

*A tous mes amis(es) : **Ihsane.L, Aicha.I, Khadidja.M, Kahina.A, Samia.L, Fatima.D, Rania.B, Maysoune.D, Mustapha.D, bouthaina.B, Leila.A, Sabrina. B, Djihane.L, Khadidja.H, Feriel.B, Feriel.I, Ines.B**, pour leur soutien inconditionnel, leur encouragement, leur sincère amitié et confiance, et à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement.*

Résumé :

Afin de déterminer l'effet de la nature chimique de substrat sur la germination levée de la luzerne (*Medicago sativa*), ce travail est réalisé durant 15 jours en suivant : le taux de germination, la longueur des racines et des parties aériennes, la vitesse de croissance, la durée médiane de germination, la moyenne journalière de germination, l'indice de vigueur et la proline accumulée dans les feuilles; pour 20 graines de la plante semées dans quatre substrats Eau distillée, CaSO_4 , CaCO_3 et NaCl et avec différentes concentrations (Ti) variable entre 0% et 50% pour le sel, le gypse et le calcaire.

Les résultats ont montré que des concentrations en NaCl supérieures à 2,5% inhibent la germination de la plante. L'ANOVA a aussi révélé des différences significatives pour l'ensemble des paramètres mesurés ($P < 0,05$). Nous observons un taux de germination de 93% dans les substrats T0, T2 CaSO_4 et 91% dans T4 CaSO_4 , 90% dans T1 CaCO_3 et 73% dans T5 NaCl . La longueur des racelles est de 4,16cm dans T2 CaSO_4 , de 3,56cm dans T3 CaCO_3 ; de 3,40 cm dans T0 et de 1,3 cm dans T5 NaCl . La longueur des glumelles est de 2,35 cm dans T4 CaSO_4 ; de 2,1 cm dans T2 CaCO_3 ; de 1,56 cm dans T0 et de 0,89 cm dans T5 NaCl . L'analyse en composante principale a démontré que la germination des graines dans les substrats gypseux (CaSO_4) et Calcaire (CaCO_3), sont le plus liés aux paramètres mesurés, contrairement au milieu salin-sodique (NaCl) qui a une corrélation médiocre et négative.

Mots-clés: *Medicago Sativa*; CaCO_3 ; CaSO_4 ; NaCl ; Germination- Levée.

Abstract:

This work was carried out for 15 days in order to determine the effect of the chemical nature of the substrate for germination-emergence of alfalfa *Medicago Sativa*, for this we have sown 20 seeds in four substrates Distilled water, CaSO₄, CaCO₃ and NaCl and with different concentrations (Ti) varying between 0% and 50% for salt, gypsum and limestone; and we have measured the following parameters: the germination rate, the length of the roots and those of the aerial parts, the growth rate, the median duration of germination, daily average germination, vigor index and proline accumulated in the leaves of the sprouted plants.

The results showed that NaCl concentrations above 2,5% inhibit the germination of the plant. ANOVA also revealed significant differences for all of the measured parameters ($P < 0.05$).

We observe a germination rate of 93% in the substrates T₀, T₂CaSO₄, 91% in T₄CaSO₄, 90% in T₁CaCO₃ and 73% in T₅NaCl. The length of the rootlets was 4.16 cm in T₂CaSO₄, 3.56 cm in T₃CaCO₃; 3.40 cm in T₀ and 1.3 cm in T₅NaCl. The aerial part (stalk) length was 2.35 cm in T₄CaSO₄; 2.1 cm in T₂CaCO₃; 1.56 cm in T₀ and 0.89 cm in T₅NaCl. Principal component analysis has demonstrated that seed germination in gypsum (CaSO₄) and Limestone (CaCO₃) substrates is the most related to the parameters measured, unlike the saline-sodium medium (NaCl) which has a poor and negative correlation.

Keywords: *Medicago Sativa*; CaCO₃; CaSO₄; NaCl; Germination- Emergence.

ملخص

من أجل دراسة تأثير الطبيعة الكيميائية للتربة لإنبات و نمو بذور البرسيم، تم إنجاز هذا العمل في مدة 15 يوم حيث تمت متابعة: معدل الإنبات طول الجذور والساق، سرعة النمو، متوسط مدة الإنبات، معدل الإنبات اليومي، مؤشر القوة والبرولين المتراكم في الأوراق لعشرين بذرة مزروعة في أربع أواسط مختلفة ماء مقطر، CaCO_3 ، CaSO_4 ، NaCl مع تراكيز مختلفة (Ti) تتراوح بين 0% و 50% للملح و الجبس و الكلس .

أظهرت النتائج أن التراكيز الملحية التي تفوق 2,5% تعرقل إنبات البرسيم، تحليل التباين أوضح أيضا وجود فروقات كبيرة بالنسبة للمعايير المقاسة حيث ($P < 0,05$)، لاحظنا معدل إنبات 93% عند T_0CaSO_4 و T_2CaSO_4 و 91% عند T_4CaSO_4 و 90% عند T_1CaCO_3 و 73% عند T_5NaCl ، طول الجذور بلغت 4,16 سم عند T_2CaSO_4 ، 3,56 سم عند T_3CaCO_3 و 3,40 سم عند T_0 و 1,3 سم عند T_5NaCl ، طول الساق 2,35 سم عند T_4CaSO_4 ، 2,1 سم عند T_2CaCO_3 ، 1,56 سم في T_0 و 0,89 سم عند T_5NaCl .

تحليل المكونات الأساسية أثبت أن إنبات البذور في المحاليل الجبسية CaSO_4 والكلسية CaCO_3 هم الأكثر ارتباطا مع المعايير المقاسة عكس الوسط الملحي-صوديوم NaCl الذي له إرتباط ضعيف وسالب.

كلمات مفتاحية: البرسيم، الجبس، الكلس، كلوريد الصوديوم، الإنبات – النمو.

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 01	Morphologie de la luzerne (<i>Medicago sativa L.</i>)	5
Figure 02	Stades du développement de la luzerne.	7
Figure 03	Suivi de la dynamique du taux de germination des graines de <i>Medicago sativa</i> dans différents substrats et à concentrations variables.	17
Figure 04	Taux de germination des graines de <i>Medicago sativa</i> dans différents substrats et à concentrations variables.	18
Figure 05	Longueur des racelles et longueur des glumelles de <i>Medicago sativa</i> germant dans différents substrats et à concentrations variables.	19
Figure 06	Vitesse de croissance des glumelles de <i>MedicagoSativa</i> germant dans différents substrats et à concentrations variables.	20
Figure 07	Vitesse de croissance des racelles de <i>MedicagoSativa</i> germant dans différents substrats et à concentrations variables.	21
Figure 08	Variation de la durée médiane de germination des graines <i>Medicago sativa</i> dans différents substrats.	22
Figure 09	Variation de la germination journalière moyenne des graines de <i>Medicago sativa</i> dans différents substrats.	23
Figure 10	Indice de vigueur des graines de <i>MedicagoSativa</i> , germant dans différents substrats et à concentrations variables.	24
Figure 11	Variation de la teneur moyenne en proline chez <i>MedicagoSativa</i> dans différents substrats et différentes concentrations.	25
Figure 12	Analyse en composante principale regroupant les substrats, les concentrations et les paramètres mesurés sur <i>Medicago sativa</i> .	26

Liste des photos

N°	Titre	Page
Photo 01	Représentation des semences de <i>Medicago sativa</i> .	10
Photo 02	Représentation du protocole expérimental.	12
Photo 03	Mesure de la longueur de la racine et de longueurs de la partie aérienne d'une plantule de <i>Medicago sativa</i> .	14
Photo 04	Représentation du dosage de la proline dans les feuilles de la plante.	15

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau N°1	Conditions influençant la pérennité de la luzerne.	8
Tableau N°2	Nomenclature des substrats et des concentrations utilisées au cours du travail expérimental.	11
Tableau N°3	Pourcentage des constituants chimiques (NaCl, CaCO ₃ et CaSO ₄) dans les sols.	12

Liste d'abréviation

% : Pourcentage

A C P : Analyse en composante principale.

ANOVA : Analyse de la variance.

CaCO₃ : Carbonate de calcium.

CaSO₄ : Sulfate de calcium.

cm : Centimètre

DMG : Durée médiane de germination.

F.A.O : Food and Agriculture Organisation

g / l : gramme par litre

g : gramme

IV : Indice de vigueur.

LG : Longueur des glumelles.

LR : Longueur des radicelles.

MDG : Moyenne journalière de germination.

NaCl : Chlorure de sodium.

P : probabilité.

TG : Taux de germination.

VC : Vitesse de croissanc

Introduction

Introduction

L'Algérie connaît un déficit chronique en viande, en lait, et en produits dérivés ; ce manque est dû à une mauvaise alimentation du cheptel où la ration de base repose sur du foin, de vesce-avoine de très mauvaise qualité car les espèces fourragères utilisées en vert sont très peu développées (**Abdelguerfi, 1987**). Selon ce même auteur (**1992**), les ressources fourragères sont assurées en grande partie par des milieux naturels (steppe, parcours, maquis...) et des milieux plus ou moins artificialisés (prairies, jachère).

L'amélioration des plantes fourragères locales et la durabilité des systèmes agricoles méditerranéens, ont pour objectif l'augmentation de connaissance des caractères et des réponses liées à la morphologie, la physiologie et la génétique des plantes fourragères (**Chedjrat, 2017**).

Le déficit hydrique et la nature du sol sont les problèmes majeurs de développement des cultures fourragères en Algérie de même qu'ils sont considérés comme le frein majeur pour le développement particulier de la culture de la luzerne sur les terres du pays (**Boudour, 2012**).

En effet, dans les zones méditerranéennes arides, la luzerne est souvent irriguée et est confrontée au stress salin. La recherche de cultivars mieux adaptés à cette situation est une priorité (**Ibriz et al, 2004**).

La nature du sol est le facteur le plus répandu limitant la distribution et la productivité des plantes (Qin et al, 2010). La tolérance édaphique pendant la germination est critique pour la mise en place de la culture de plantes dans les sols des régions arides (**Khan et Gulzar, 2003**). Par exemple une augmentation de la salinité induit une diminution du pourcentage de graines germées (**Meot-Duros et Magné, 2008**).

En effet, les conditions environnementales de la zone d'occupation des espèces cultivées peuvent essentiellement déterminer les caractéristiques des semences et leurs réponses à la germination. Plusieurs facteurs environnementaux tels que la température, la nature chimique du sol, la lumière et l'humidité du sol influent simultanément la germination des espèces végétales (**El-Keblawy et Al-Rawai, 2006**), en conséquence leur phases de

développement qui suivent sont touchées et le rendement en biomasse des espèces cultivées est donc influencé.

Dans cet optique, l'objectif de cette étude est de tester la germination des graines de la luzerne *Medicago sativa* dans des substrats présentant différentes natures chimiques [Salin-Sodique (NaCl)], Calcaire (CaCO₃) et Gypseuse (CaSO₄), tout en essayant de reproduire diverses concentrations de ces substrats en relation avec ce qui a été cité et développé dans la littérature.

Les démarches suivies dans la réalisation de ce document sont les suivantes :

Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique. Cette synthèse rappelle des généralités sur la luzerne, ses exigences et aussi sa production.

Le deuxième chapitre est consacré aux matériel et méthodes utilisés pour la réalisation de ce travail.

Les résultats obtenus sont présentés et discutés dans le troisième chapitre.

Et enfin nous terminerons par une conclusion et des perspectives.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

I. Synthèse bibliographique

I.1 - Généralités sur la luzerne

Sous l'appellation luzerne cultivée, on classe deux espèces botaniques *Medicagosativa* L., *Medicago falcata* L. et leurs hybrides *Medicago media* P. (ou *Medicago varia* M.) (Lapevronie, 1982 ; Mauries, 2003).

La luzerne (*Medicagosativa* L.), est l'une des plantes fourragères les plus répandues sur tous les continents, sa culture remonterait à plus de 9000 ans (Mauriès, 2003).

Bentvelsen (1980) et Soltner (1999) signalent l'origine de *Medicago sativa* comme étant méditerranéenne. L'espèce *Medicago sativa* L. appartient à la famille des légumineuses, sous famille des papilionacées et au genre *Medicago*. Ce genre comprend un grand nombre d'espèces, la plus connue parmi ces espèces est la luzerne cultivée (*Medicago sativa* L.) qui constitue un aliment pour le bétail (Prosperi et al., 1995). *Medicagosativa* est une plante vivace à systèmes racinaires pivotantes, les racines ont des nodosités, et les bactéries qu'elles contiennent (*Sinorhizobium meliloti*) fixent l'azote de l'atmosphère (Munro et Small, 1997). Le développement des tiges suit un ordre précis, on distingue des tiges primaires, secondaires et tertiaires. Les feuilles sont en général de type trifolié. Les fleurs sont regroupées en inflorescences, la couleur des fleurs chez *Medicago sativa* est le mauve-violet (Mauriès, 2003). La fécondation est allogame. Le fruit est une gousse plus ou moins enroulée, en forme spiralée. La graine est plus ou moins réniforme (Camille, 1980).

I.2 - Origine et distribution géographique de la luzerne

La luzerne fut introduite en Europe vers 470 avant J.C avant les guerres médiques. Elle portait alors le nom de *Medicaherbà* « l'herbe de Médie », devenu plus tard le nom de genre : *Medicago*. Toutefois, les tablettes Hittites mentionnent déjà son utilisation, comme nourriture hivernale pour les animaux, 1400 à 1200 ans av.J.C.

La luzerne proviendrait des hauts plateaux du Caucase de l'Iran et de Turquie où elle était appelée *Alfalfa* « le meilleur des fourrages ». A l'heure actuelle, la luzerne est la plante fourragère la plus cultivée dans le monde en raison de ses propriétés nutritives et médicinales (Brooker, 2007). Elle est notamment très répandue dans les zones tempérées chaudes subtropicales et en altitude (Mauries, 2003).

I.3 - Taxonomie et classification botanique de la luzerne

La luzerne appartient à la famille des légumineuses, caractérisées par leur capacité à fixer l'azote atmosphérique, grâce à une symbiose existant entre la plante et une bactérie qui se développe dans son système racinaire (**Mauriès, 2003**).

D'après **Quezel et Santa (1962)**, l'espèce est classée comme suit :

- Embranchement : Spermaphytes
- Sous-embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones
- Sous-classe : Dialypétales
- Ordre : Rosales
- Famille : légumineuses
- Sous-famille : Papilionacées
- Tribu : Trifoliées
- Genre : *Medicago*
- Espèce : *Medicago sativa* L.

I.4 - Morphologie de la luzerne

La luzerne (Figure 01), est une plante herbacée de grande taille (30 à 110 - 180 cm), glabrescente (**Midoun, 2015**), vivace par ses tiges souterraines ramifiées. Les feuilles présentent trois folioles ovales ou oblongues, pétiolées, dentées et mucronées au sommet, ordinairement glabres.

Les fleurs sont le plus souvent violettes, parfois bleuâtres, nombreuses, en grappes oblongues dépassant les feuilles.

Le fruit est une gousse non épineuse, recourbée en spirale à 2-3 tours de spire, renfermant plusieurs graines réniformes, luisantes, de couleur jaune verdâtre (**Midoun, 2015**).

Ses racines longuement pivotantes, peuvent descendre jusqu'à 2 mètres de profondeur, ce qui confère à cette espèce une bonne résistance à la sécheresse. Le poids de 1.000 graines est d'environ 2 g. La faculté germinative dure en moyenne 3 ou 4 ans. Elle doit être considérée comme satisfaisante si elle est supérieure à 89 % pour un essai effectué en local chauffé.



Figure 01 : Morphologie de la luzerne (*Medicago sativa* L.). (Childers, 2008).

1-Fleur ,2-Fleur épanouie. 3-Fleur ouverte,4 et 5 : Un pétale, 6-Une inflorescence en stade fructification,7-Une gousse,8- Une graine,9- Coupe longitudinale d'une graine

I.4.1 - La racine de la luzerne

Le système racinaire se caractérise par une racine pivotante centrale très puissante capable d'aller puiser l'eau et les éléments nutritifs très profondément dans le sol, et des racines secondaires plus ou moins ramifiées qui peuvent aller rechercher l'humidité à des profondeurs de 2 à 3 m ; ces racines portent des nodosités (Nedjai, 1973) ou à lieu la symbiose fixatrice d'azote avec le *Rhizobium melilot* (Rochat, 2005).

I.4.2 - La tige

Les tiges sont plus ou moins dressées, elles portent des feuilles nombreuses, portant à leur extrémité un mucron. Les luzernes de type non dormant produisent plus de tiges secondaires à partir du niveau des cotylédons que les types dormants dont la croissance est stoppée en hiver (Mauriès, 1994).

I.4.3 - Fleur

La luzerne est allogame. Les fleurs hermaphrodites, symétriques, sont longues (7 à 11 mm). Elles sont regroupées en inflorescences en grappe longues de 20 à 40 mm et de 15 à 30 fleurs (Camille, 1980) 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 *M. sativa* est mauve-violet alors que les *M. falcata* ont des fleurs jaunes (Mauriès, 1994).

I.4.4 - Fruits

Les fruits sont des gousses noires, indéhiscentes. Elles sont enroulées en une, deux ou trois spirales. Elles sont couvertes de petites soies et d'un réseau de nervures. La gousse contient plusieurs graines brun-jaune, réniformes.

I.4.5 - Cycle de vie

L'accroissement en matière sèche se poursuit jusqu'à la pleine floraison ; dès l'apparition des boutons floraux, l'élongation est très ralentie, parallèlement la proportion de la matière sèche s'accroît dans la plante entière mais la proportion des feuilles diminue (Moule, 1971).

I.4.5.1 Phase végétative

Le cycle commence par la germination, les feuilles trifoliées apparaissent ensuite, une nouvelle tige se développe et les premières nodosités commencent à se former. Les années suivantes, la phase végétative débute dès la fin de l'hiver, celle-ci se marque par un début de croissance des bourgeons. La phase de croissance, de plus en plus active, se caractérise par l'élongation des entre-nœuds (Hnatyszyn et Guais ; 1988).

I.4.5.2 Phase reproductrice

Ce stade correspond à la différenciation des organes reproducteurs : l'apparition des boutons floraux à l'extrémité des tiges marque le début de la phase reproductrice. La floraison commence à l'ouverture des premières fleurs. Après une première coupe une nouvelle floraison intervient cinq à six semaines plus tard (Hnatyszyn et Guais ; 1988).

I.4.6 - Cycle de développement

La germination de la luzerne est épigée. Dès que les cotylédons sont émis, la première feuille est unifoliée (**Figure 02**). Les feuilles suivantes sont trifoliées dentées et rattachées à la tige par un pétiole. Ainsi, la première tige grandit en produisant des feuilles alternées en général de type trifoliées. Pendant le développement de la plante, il y a croissance du bourgeon axillaire de la première feuille unifoliée pour donner une tige secondaire. Après, deux autres tiges secondaires démarrent à sa suite depuis le niveau des cotylédons. Le nombre de tiges secondaires varie en fonction de types de luzerne. Celui de type non dormant produit plus de tiges secondaires que le type dormant dont la croissance est stoppée en hiver.

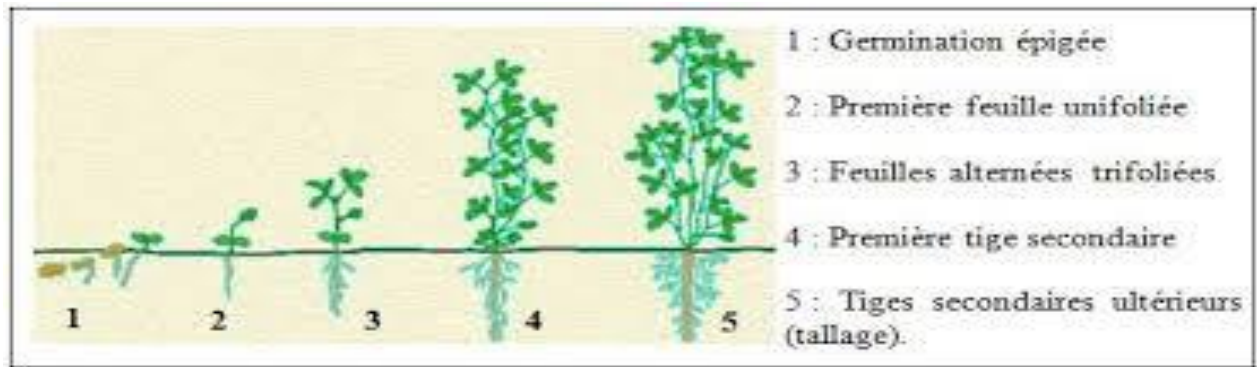


Figure 02 : Stades du développement de luzerne source :(Mauriès, 1994).

I.5 - Exigences de la luzerne

a. Facteur climatique

Dans un lit de semence bien préparé et suffisamment humide, la germination intervient si la température est au minimum de 7°C, l'optimum étant de 25°C (Chaabena, 2001). La croissance des jeunes semis est rapide entre 20 et 30°C. Cette température optimale diminue ensuite pour se situer à 15-25°C chez les plantes plus âgées. En dessous de 10°C et au-delà de 37°C, la croissance est fortement réduite (Mauriès, 2003).

Le photopériodisme modifie la morphologie et la production de la matière sèche. Les durées d'éclaircissement croissantes provoquent un allongement des feuilles au détriment de leurs largeurs (Hnatyszyn et Guais ; 1988). La plante-abri diminue considérablement la disponibilité en eau et surtout en lumière limitant ainsi les possibilités de croissance aériennes et souterraines de la jeune plantule (Moule, 1971).

Selon Chaabena (2001), la luzerne est très exigeante en eau pour élaborer un gramme de matière sèche, il faut 800 à 1000 grammes d'eau. Elle exige entre 12000 à 13000m³ /ha pour une année de culture. Son enracinement pivotant, qui peut atteindre 2 m de profondeur, lui permettant de résister à la sécheresse.

b. Facteur édaphique

La luzerne se développe bien sur les sols secs et neutres de pH compris entre 6,5 et 7,2 (Penhouet, 2008).

Pour une bonne germination, les graines de luzerne ont besoin d'un sol humide sans lequel la croissance des racines et de la plante serait réduite. Le système racinaire profond de la luzerne lui permet de bien supporter la sécheresse (Collin et al., 2003).

Compte tenu de la petite taille des graines de luzerne, un travail du sol fin en surface est nécessaire. Il permet un bon contact graine/sol et favorise les remontées capillaires d'eau (Collin et al., 2003).

I.6 - La récolte de la luzerne

La pérennité de la luzerne peut être affectée non seulement par les conditions pédoclimatiques mais aussi par les conditions de récolte. Alors qu'il est difficile d'avoir une emprise sur les conditions de récolte lorsqu'on valorise la culture en déshydratation, il est possible de prêter attention à ce paramètre lors d'une valorisation en fourrage. Le tableau N° 1 résume les conditions qui peuvent influencer la pérennité de la luzerne :

Tableau N°1 : Conditions influençant la pérennité de la luzerne.

Paramètres pédoclimatiques ou techniques	Influence sur la pérennité de la luzerne
Faible pH du sol et faible teneur en calcium échangeable Sols hydromorphes Temps de retour réduit entre deux luzernes	Très forte
Mauvais choix variétal	Forte
Faible hauteur de fauche Absence de montée à floraison de la luzerne Période réduite entre deux fauches Période réduite entre la dernière fauche et les premières gelées	Modérée

Source : chambre d'agriculture aube

- **Hauteur de fauche** : la hauteur de fauche ne doit pas être inférieure à 6-7 cm (une hauteur de main). Cette préconisation est d'autant plus importante que la fauche est tardive car les bourgeons peuvent déjà être repartis.
- **Floraison de la luzerne** : il est nécessaire de laisser fleurir environ 10% des pieds une fois par an. Cela permet à la luzerne de renouveler ses réserves racinaires et ainsi d'améliorer la pérennité de la culture.
- **Temps de retour sur la même parcelle** : respecter un délai de retour de la luzerne d'au moins 6 à 7 ans au risque d'observer des problèmes de levées.

I.7 - Importance agronomique de la luzerne

L'intérêt agronomique majeur de la luzerne consiste dans la grande production fourragère en zone sèche et dans la diminution de l'utilisation d'engrais azotés. Grâce à leurs propriétés

fixatrices d'azote, ce qui correspond à une économie appréciable de consommation d'énergie fossile génératrice de gaz à effet de serre (**Erice et al., 2010**). Et leurs racines pivotantes et profondes permettent d'améliorer la structure du sol et aussi de limiter la perte de nitrate par lessivage et de limiter les risques d'érosion (**Broderick, 2001**). La luzerne possède une grande capacité à se ressemer naturellement d'une année à une autre. Cette propriété peut aboutir à une installation pérenne adaptée aux aléas climatiques des zones méditerranéennes diminuant ainsi le phénomène d'érosion des sols. Par ailleurs, de nombreuses espèces et sous-espèces de *Medicago* présentent aussi des caractères d'intérêt agronomique, tels que la tolérance au pâturage (capacité d'enracinement et de repousse), la tolérance à la sécheresse, à la salinité et aux maladies (**Bouizgaren, 2007**).

I.8 - Importance écologique de la luzerne

La fonction écologique de la luzerne se manifeste sur la conservation du sol et de sa fertilité, sur le contrôle de la pollution par les nitrates, sur la durabilité des systèmes fourragers qui la comprennent et sur la limitation des intrants chimiques et de labour grâce à sa pérennité.

La luzerne est surtout vulnérable à la concurrence des mauvaises herbes durant l'installation (**Birouket al ; 1997**). Les mauvaises herbes peuvent concurrencer la luzerne de façon plus ou moins sévère, non seulement au moment de l'établissement lui-même, mais aussi après chaque coupe quand la couverture du sol par la culture est au minimum, il y a concurrence précoce pour la lumière, mais aussi concurrence pour l'eau et un degré moindre pour les éléments nutritifs en plus des effets toxiques des excréments radiculaires de certaines herbes (**Labonne 1976**)

I.9 - Importance socioéconomique

Elle est essentiellement due à sa grande productivité de qualité et surtout à la multiplicité d'usages qu'elle peut permettre :

- Comme couverture de protection des sols, pâture, fourrage vert, foin, ensilage, déshydratation (bouchons de luzerne),
- Production de fibres pour l'industrie de la papeterie (**Talamucci, 1994**).
- Et même pour son utilisation médicinale, grâce à sa composition minérale, en vitamines, acides aminés, enzymes et autres composé (**Alonso, 2004**).

Chapitre II

Matériels & méthodes

II. Matériels et méthodes

II.1 - Le matériel végétal

Les semences de *medicagosativa* (Photo 01), sont un produit issu d'une récolte du mois de Mai 2017. Elles nous ont été fournies par un agro-éleveur producteur de fourrages, lait et viande dont les activités sont dans la région d'El Goléa (Wilaya de Ghardaia). Depuis leur collecte elles ont été conservées dans des boites métalliques à 4°C jusqu'au démarrage de l'essai.



Photo 01 : Représentation des semences de *MedicagoSativa*
(Modebber 2020).

II.2 - Protocole expérimental

II.2.1.Substrats et concentrations utilisées :

Afin de déterminer le substrat le mieux adapté à la germination-levée des graines de *Medicagosativa*, des tests de germination ont été effectués sous différentes concentrations de chlorures de sodium (NaCl) et de carbonate de calcium (CaCO_3) et de sulfate de calcium (CaSO_4). Les graines de la luzerne sont d'abord désinfectées à l'éthanol à 60 % pendant 10 minutes et soigneusement laver trois (3) fois avec de l'eau distillée. Tous les tests de germination sont réalisés dans des boites de pétri stérilisées en plastique de 80 mm de diamètre et d'une hauteur de 13 mm. Les graines sont mises à germer dans ces boites de pétri

tapissées de disques en papier-filtre standard d'un diamètre égal à celui des boîtes de pétri et couvertes de papier millimétré à raison d'environ (20 graines par boîte). Chaque boîte est numérotée avec un marqueur permanent, elles sont ensuite recouvertes par leur couvercle. Selon **Malcolm et al. (2003)**, la vitesse et la durée de germination des graines ne changent pas significativement à des températures ambiantes (de 15 à 25 °C). Toutefois, à 10 °C les graines ont une germination lente.

Nous avons incubé les boîtes dans une étuve réglée à 25 °C (± 1) et suivi la germination-levée des graines chaque jour à la même heure. La durée d'incubation a été de 15 jours. Dans un premier cas, nous avons ajouté de l'eau distillée (témoin= T0), dans les autres cas, nous avons ajouté des solutions calcaires de Carbonate de Calcium (CaCO_3) avec 4 différentes concentrations 37,5% ; 17,5% ; 6%, 0,5% appelées respectivement T1 CaCO_3 , T2 CaCO_3 , T3 CaCO_3 , T4 CaCO_3 , ensuite des solutions Gypseuses de Sulfate de Calcium (CaSO_4) avec 5 différentes concentrations 37,5% ; 20% ; 12,5% ; 5,2% ; 0,015% appelées respectivement T1 CaSO_4 , T2 CaSO_4 , T3 CaSO_4 , T4 CaSO_4 et T5 CaSO_4 ; et enfin des solutions Sodi-salines au Chlorure de Sodium (NaCl) avec 5 différentes concentrations 40% ; 35% ; 23,5% ; 6,5% ; 2% appelées respectivement T1NaCl, T2NaCl, T3NaCl, T4NaCl et T5NaCl. Pour l'ensemble de ces concentrations trois (3) répétitions ont été réalisées.

Pour autant nous avons quatre substrats Eau distillée, CaSO_4 , CaCO_3 et NaCl: le témoin à l'eau distillé, quatre traitements pour le substrat CaCO_3 et cinq traitements pour les substrats de CaSO_4 , et NaCl (Tableau N° 2).

Les boîtes sont placées dans l'incubateur réglé à une température de (25 ± 1) °C, avec aussi (12 heures Obscurité / 12 heures Lumière) en r. Durant notre test nous avons considéré que la graine a germé lorsqu'elle développe une radicule (radicelle ou coléorhize) et une tigelle (glumelle ou coléoptile) dont la longueur est d'au moins de 2 mm.

Tableau N°2 : Nomenclature des substrats et des concentrations utilisées au cours du travail expérimental

Substrat Sodi-salin	Concentration (%)	Substrat Calcaire	Concentration (%)	Substrat Gypseux	Concentration (%)
T1NaCl	40	T1 CaCO_3	37,5	T1 CaSO_4	37,5
T2NaCl	35	T2 CaCO_3	17,5	T2 CaSO_4	20
T3NaCl	23,5	T3 CaCO_3	6,5	T3 CaSO_4	12,5
T4NaCl	6,5	T4 CaCO_3	0,5	T4 CaSO_4	5,5
T5NaCl	2,0	T5 CaCO_3		T5 CaSO_4	0,015

T0 : Nomenclature réservée au substrat de concentration nulle (0%) qui est l'eau distillée.

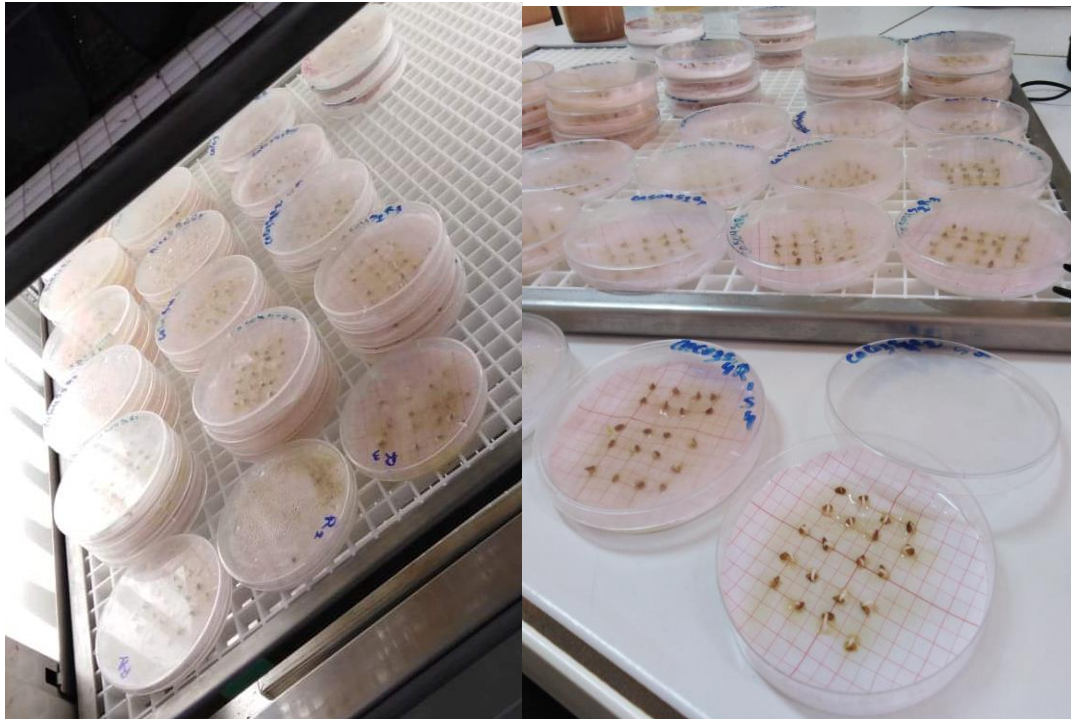


Photo 02 : Représentation de protocole expérimental (Modebber 2020).

II.3 - Justification des choix pour les concentrations utilisées durant le test

Les concentrations utilisées durant ce test ont été réalisées en respectant les limites des constituants chimiques dans les sols calcaires pour le carbonate de calcium (CaCO_3), dans les sols gypseux pour le sulfate de calcium (CaSO_4) et dans les sols salins sodique pour le chlorure de sodium (NaCl) (Tableau N°3).

Tableau N°3 : Pourcentage des constituants chimiques (NaCl , CaCO_3 et CaSO_4) dans les sols.

Type de sol	CaSO_4 (%)	CaCO_3 (%)	NaCl (%)
Très fortement	25-50	> 50	30-50
Fortement	15-25	25-50	30-40
Modérément	10-15	10-25	10-30
Faiblement	0,3-10	2-10	4,5-10
Très faiblement (Ou Non)	<0,3	<2	0,4-5

(Source : Clément et Pieltain 2020).

II.4 - Les paramètres mesurés

Les paramètres mesurés au cours de ce travail sont :

II.4.1 - Taux de germination

Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées (NG) sur nombre total de graines (NT) (Côme, 1970).

$$\text{Taux de germination (TG (\%))} = (\text{NG} / \text{NT}) \times 100$$

II.4.2 - La durée médiane de germination

Elle permet d'exprimer l'énergie de germination responsable de l'épuisement des réserves de la graine (Scott et Jones, 1984). Elle peut s'exprimer aussi par le temps moyen de germination (T50) (le temps au bout duquel on atteint 50% des graines germées) (Côme, 1970).

$$\text{Durée médiane (T50)} = \text{T1} + (0.5 - \text{G1} / \text{G2} - \text{G1}) \times (\text{T2} - \text{T1})$$

Avec :

G1 = pourcentage cumulé des graines germées au temps T1 dont la valeur est la plus proche de 50 % par valeur inférieure.

G2 = pourcentage cumulé des graines germées au temps T2 dont la valeur est la plus proche de 50% par valeur supérieure.

II.4.3 - Moyenne journalière de germination (MDG= Mean Daily Germination)

MDG est représentée par le rapport entre le pourcentage de germination final et le nombre de jours à la germination finale (Osborne et Mercer, 1993).

$$\text{MDG} = \text{Pourcentage de germination final} / \text{Nombre de jours à la germination finale.}$$

II.4.4 - Longueur des radicules et longueur des glumelles

La longueur de la radicule primaire et celle de la glumelle ont été mesurées (Photo 3), à l'aide de projection sur le papier millimétré qui tapisse les boîtes de pétri, ceci pour évaluer la croissance de la plante vis-à-vis du substrat préféré (Hajlaoui et Denden, 2007).

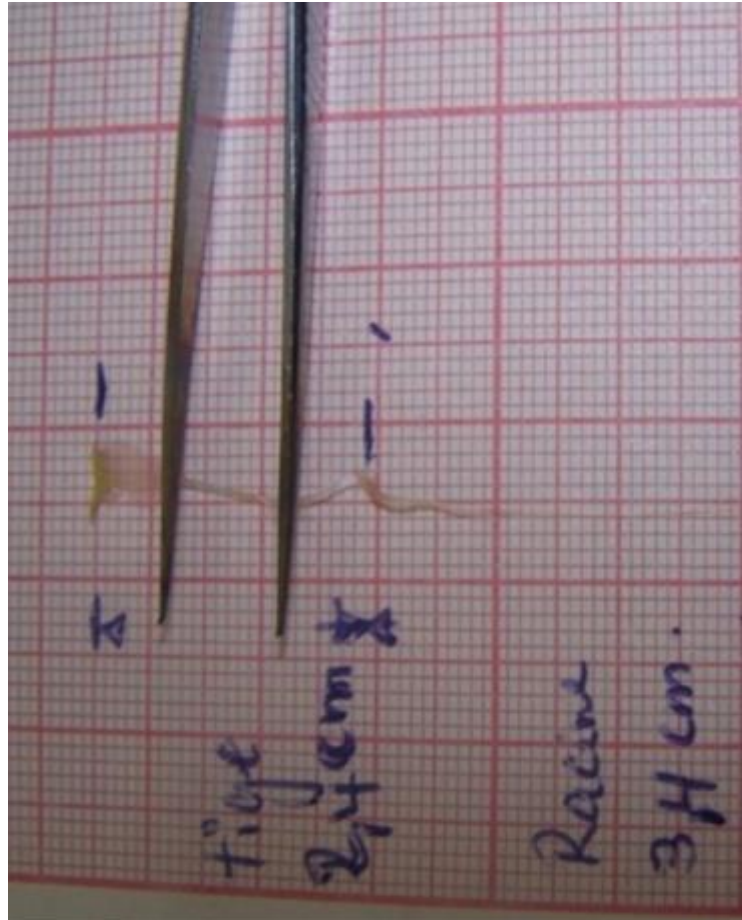


Photo 03 : Mesure de la longueur de la racine et de la partie aérienne d'une plantule de *Medicago sativa*. (Modebber 2020).

II.4.5 - La vitesse de croissance

Elle permet d'exprimer le rapport entre la longueur des glumelles ou des radicelles / et le temps final de leurs croissances respectives.

II.4.6 - Indice de vigueur (IV)

C'est un indicateur très important pour voir de quel substrat la luzerne a été plus résistante.

$$IV = (LR+LG) \times TG$$

Avec :

IV : Indice de vigueur

LR : La longueur moyenne des radicelles

LG : La longueur moyenne des glumelles

TG : Le taux de germination.

II.4.7 - Dosage de la proline accumulée dans les feuilles des plantules

Ce dosage (Photo 4) est réalisé à la fin de l'incubation sur les parties aériennes des plantules, selon la méthode de (Troll et Lindsley ; 1955) améliorée par (Lahrer et Magne cité par Leport ; 1992).

On prend 100 mg de matériel végétal sur le tiers médian de l'avant dernière feuille et on ajoute 2 ml d'éthanol à 40% puis on chauffe, au bain marie à 85°C, pendant 1 heure. Puis, 1 ml d'extrait est mélangé à 1 ml d'un soluté composé [d'eau distillée (120 ml), d'acide acétique (300 ml) et d'acide Ortho-Phosphorique (80 ml)], 2 ml d'acide acétique et 25 mg ninhydrine, puis on chauffe de nouveau au bain marie à une température 100°C, pendant 30 mn. On laisse refroidir puis on ajoute 5 ml de toluène et on mélange à l'aide d'un vortex, on laisse reposer.

On ajoute à la phase supérieure une petite cuillère de (Na_2SO_4). La densité optique est lue au spectrophotomètre à 528 nm.



Photo 04 : Représentation du dosage de la proline (Modebber 2020).

II.5 - Analyses statistiques des données

Pour l'ensemble des données du test, une analyse de la variance est effectuée par le test de Tukey à 5% à l'aide de Minitab 2018, les moyennes sont comparées et chaque moyenne est affectée d'une lettre, les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes. Aussi à la fin du test, une analyse en composante principale (ACP) est réalisée dans XL-Stat.

Chapitre III

Résultats & Discussion

III. Résultats & discussions

III.1 Résultats

III.1.1- Suivi de la dynamique et du taux de germination des graines de *Medicago sativa*

L'analyse de la cinétique de la germination des graines montre (Figure 03), des valeurs nulles pour le substrat NaCl dont la concentration est $>$ ou $=$ à 6,5% (T1NaCl, T2NaCl, T3NaCl, T4NaCl). La (Figure 03), montre aussi une germination précoce (1,5 jours après le semis) avec une moyenne de (40%) pour le témoin (T0), tandis que pour les autres substrats il semble que la germination est retardée sous l'effet de sa concentration. Les valeurs sont de 80% au 6^{ème} jour pour (T5NaCl). Dans le substrat calcaire, en fonction de sa concentration la germination est variable entre 55% et 75% et est entre 45% et 78% dans le substrat gypseux en fonction aussi de la concentration ces taux sont aussi atteints au 6^{ème} jour (Figure 03). Cette figure montre aussi que la germination a atteint le maximum 90% au niveau du substrat témoin, elle révèle aussi que le taux de germination est inversement proportionnel à la concentration dans les autres substrats.

La figure 04, représente le taux de germination des semences de *Medicago sativa* en fonction de la nature chimique du substrat.

Le graphe permet de distinguer :

-Le pourcentage final de germination qui est traduit par la capacité germinative dans chaque substrat et pour chaque concentration de (NaCl, CaCO₃, CaSO₄). Après une comparaison entre les substrats ; il apparaît que le nombre des graines germées en fonction du temps dans le substrat de T2CaSO₄, T4CaSO₄, T1CaCO₃ et dans l'eau distillée semble être le plus élevé au alentour de 90%, suivi par 80% dans T3CaCO₃, se classent par la suite le taux de germination dans les autres substrats.

A partir de l'analyse de la variance du taux de germination effectuée au 15^{ème} jour, un "p =0,229" a été observé, ce qui permet de confirmer l'existence de différence non significative entre les traitements. D'après les résultats obtenus (Figure 04), il semble que dans les substrats T2CaSO₄, T4CaSO₄, T1CaCO₃ et l'eau distillée (T0) la germination est optimale.

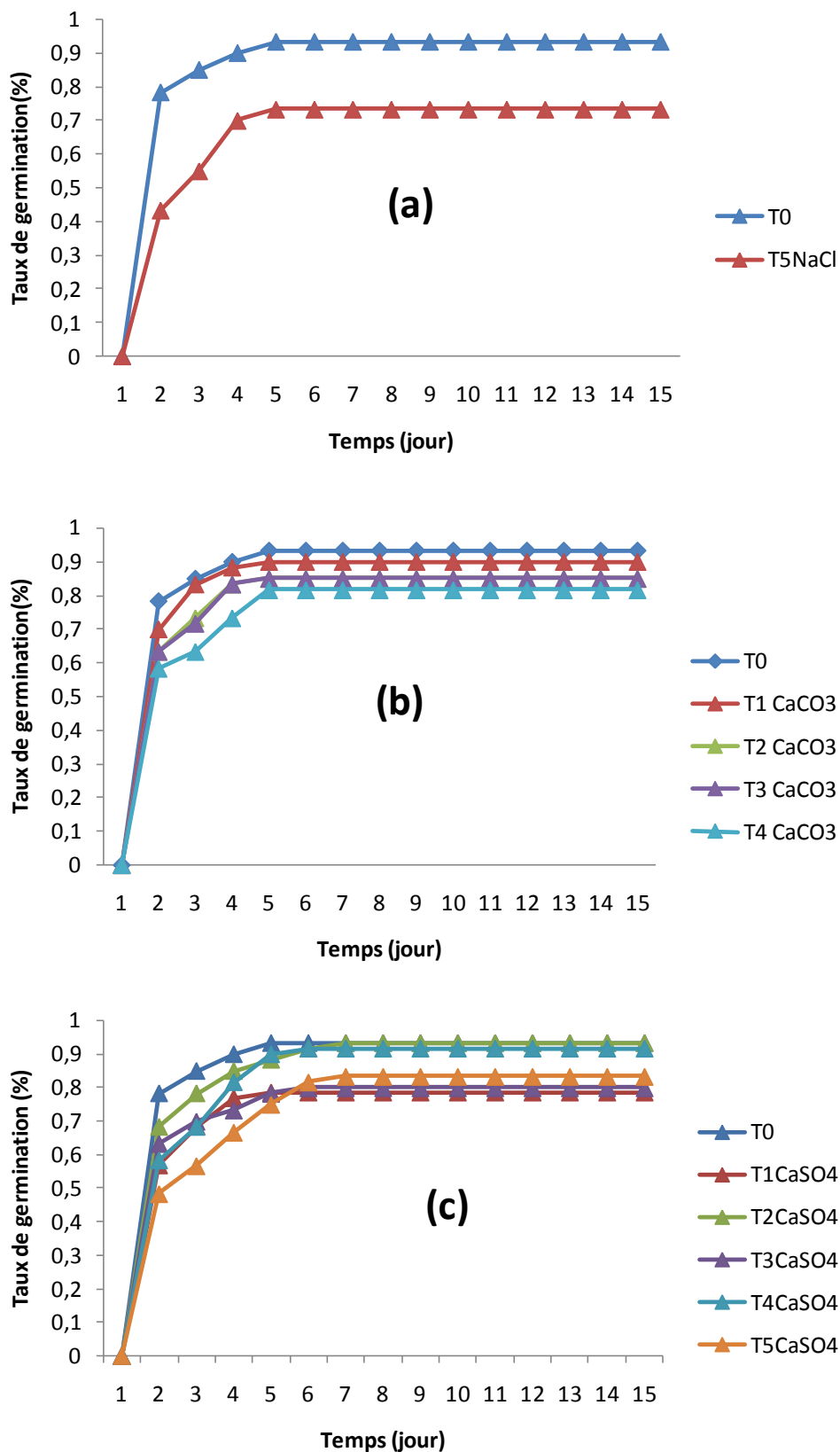


Figure 03 : Dynamique de la germination des graines de *Medicago sativa* durant les 15 jours du test expérimental, dans différents substrats et à concentrations variables :
 (a) NaCl ; (b) CaCO₃ ; (c) CaSO₄.

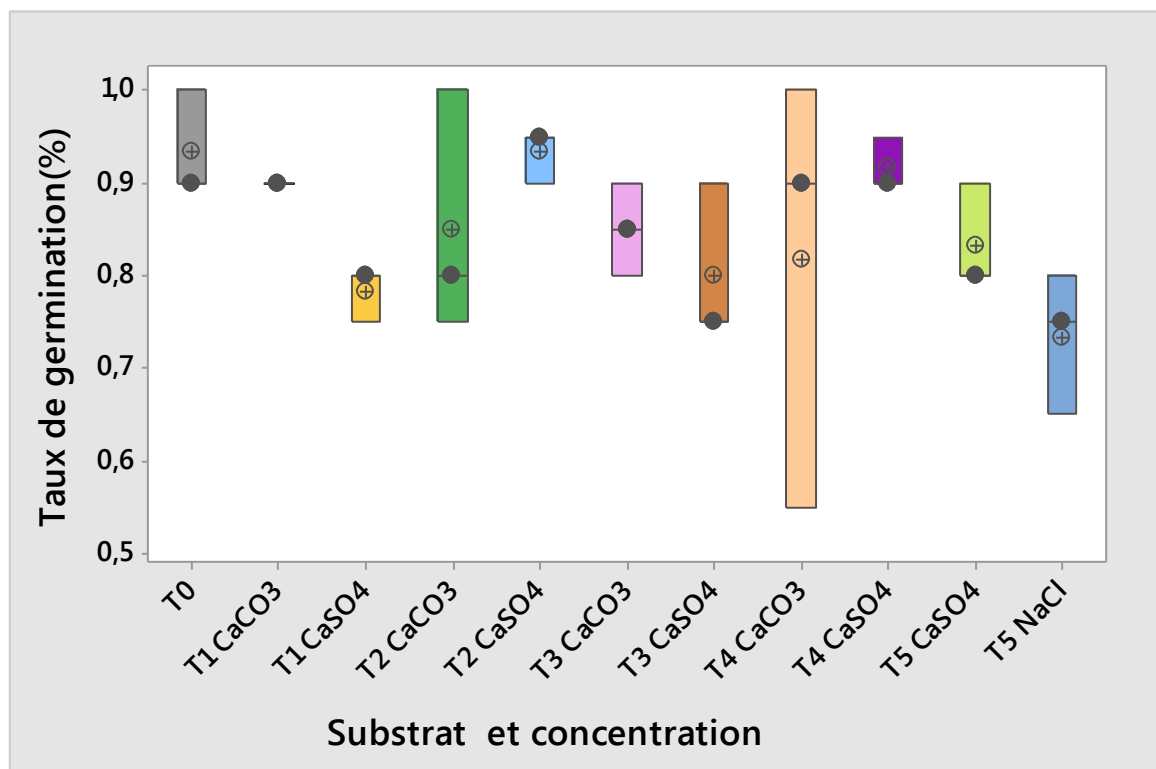


Figure 04 : Taux de germination des graines de *Medicago sativa* dans différents substrats et à concentrations variables.

III.1.2 - Longueur des glumelles et longueur des radicules

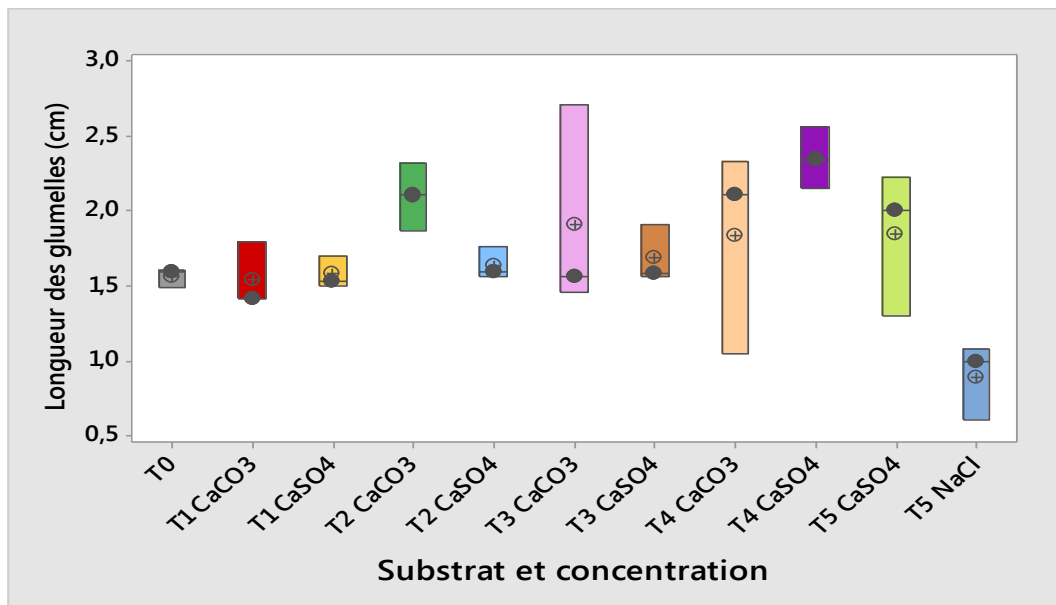
La figure 05, représente (a) les variations de la longueur des glumelles et (b) celle des radicules chez *Medicago sativa* qui germent dans différents substrats et à des concentrations variables.

Les résultats obtenus montrent une longueur plus importante de 4,5 cm au niveau des radicules dans le substrat de T4CaSO₄. Nous remarquons aussi que la croissance des plantules est légèrement affectée dans le substrat de NaCl, contrairement aux autres substrats (CaSO₄, CaCO₃), où la longueur des glumelles et la longueur des radicules sont les plus élevées avec une moyenne d'environ 2,5 cm pour les glumelles dans le substrat T3CaSO₄.

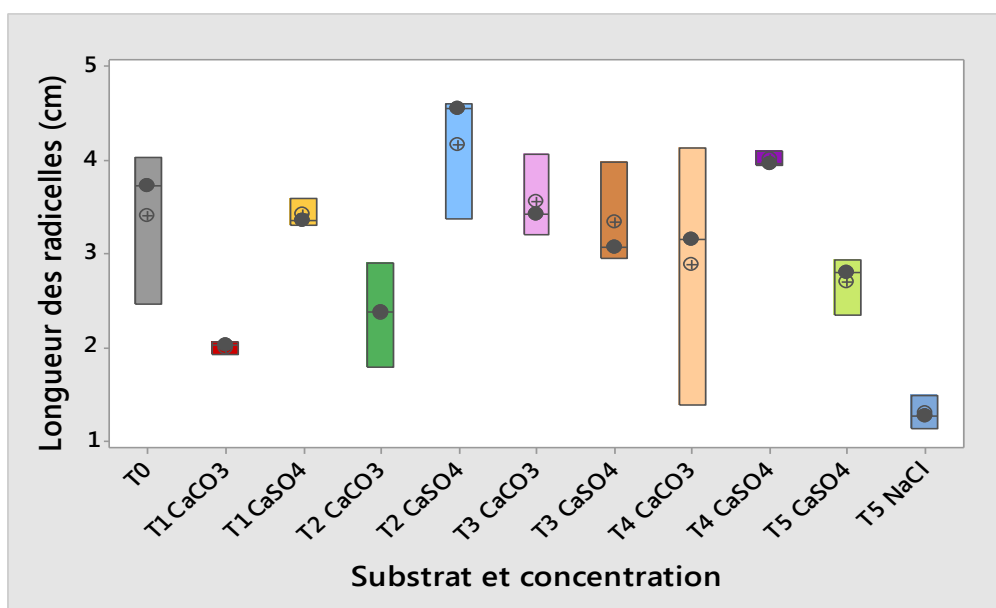
A partir de l'analyse de la variance effectuée au 15^{ème} jour du test pour les deux paramètres « la longueur des radicules » et « la longueur des glumelles », des ($P < 0,05$) ont été observés; ce qui permet de confirmer l'existence d'une différence hautement significative, pour les paramètres longueur des glumelles et longueur des radicules chez *Medicago sativa*

qui germent dans différents substrats et à concentrations variables formant ainsi 7 groupes statistiques au niveau des radicules : T2CaSO₄, T4CaSO₄ (groupe A) ; T1CaSO₄, T3CaSO₄, T3CaCO₃ et le témoin T₀ (groupe AB) ; T3CaSO₄ (groupe ABC) ; T4CaCO₃ et T5CaSO₄ (groupe BCD) ; T2CaCO₃(groupe CD) ; T1CaCO₃ (groupe DE) T5NaCl(groupe E).

Au niveau des glumelles quatre groupes statistiques sont formés : T4CaSO₄ (groupe A) ; T2CaCO₃, T3CaCO₃, T4CaCO₃ (groupe AB) ; T1CaSO₄, T2CaSO₄, T3CaSO₄, T₀, T1CaCO₃ (groupe B) ; T5NaCl (groupe C).



(a)



(b)

Figure 05 : (a) Longueur des racines et (b) longueur des cotylédons de *Medicago sativa* germant dans différents substrats et à concentrations variables.

III.1.3 - Vitesse de croissance des cotylédons et des racines

La figure 06, représente la vitesse de croissance des cotylédons durant le test. Cette figure indique également que *Medicago sativa* a une meilleure croissance dans les substrats T4CaSO₄ et T5CaSO₄ et T2CaCO₃, T3CaCO₃ et T4CaCO₃, contrairement aux substrats qui contiennent le NaCl, ou la vitesse de croissance est la plus faible comparé à celle de l'eau distillée.

La figure 06, indique aussi que l'augmentation de concentration dans le substrat calcaire CaCO₃ provoque une diminution de la croissance de *Medicago sativa*.

L'analyse de la variance effectuée le 15^{ème} jour du test pour le paramètre «vitesse de croissance des cotylédons », révèle « P=0,012 » qui est inférieur à 0,05, cela confirme la présence d'une différence hautement significative pour le paramètre vitesse de croissance des cotylédons chez *Medicago sativa* qui germe dans différents substrats et à concentrations variables formant ainsi chacun 4 groupes statistiques : T4CaSO₄ (Groupe A) et T2CaCO₃, T3CaCO₃, T5CaSO₄, T4CaCO₃ dans (Groupe AB) et T3CaSO₄, T2CaSO₄, T₀, T1CaCO₃ dans (Groupe B) et T5NaCl dans (Groupe C).

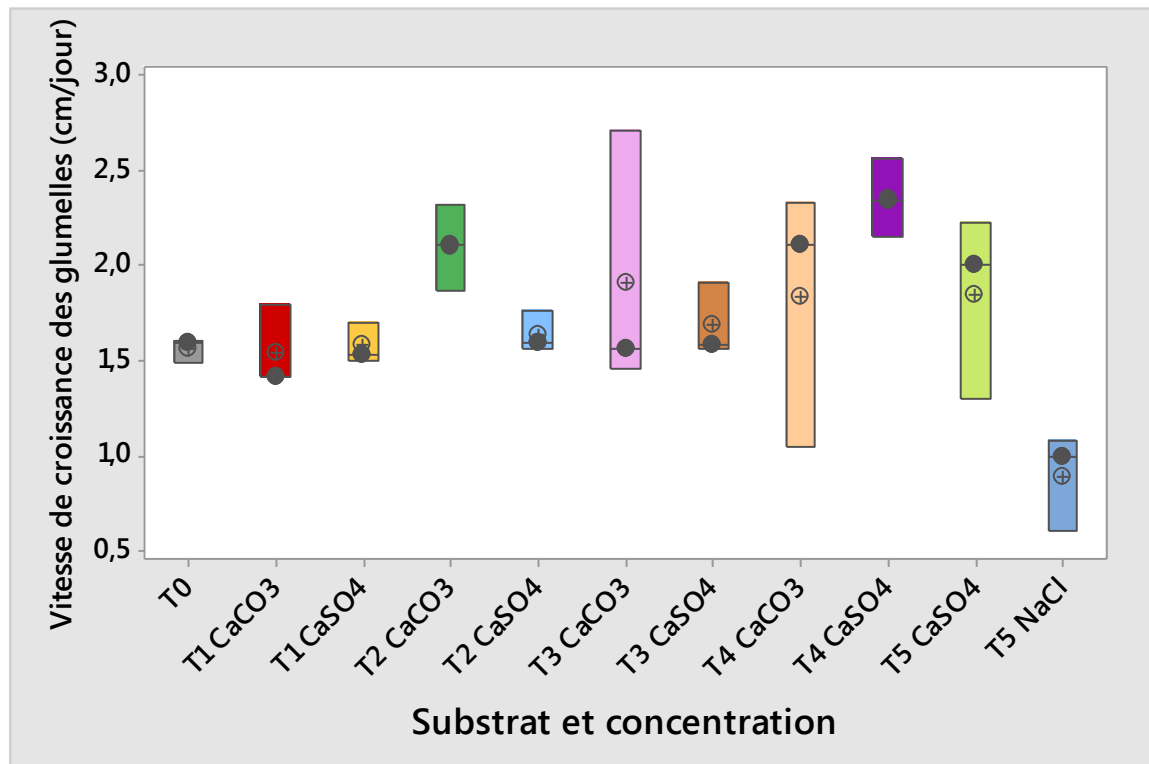


Figure 06 : Vitesse de croissance des glumelles de *Medicago sativa* germant dans différents substrats et à concentrations variables.

La vitesse de croissance des racines est représentée par la figure 07. Cette figure indique que *Medicago sativa* a une meilleure croissance dans les substrats T4 CaSO₄ et T2 CaSO₄, T1- CaSO₄, T3CaCO₃ et le témoin T₀ par rapport aux substrats contenant le sel NaCl, où la vitesse de croissance est la plus faible. La figure 07, indique aussi que l'augmentation de concentration dans le substrat calcaire (CaCO₃) provoque une diminution de la croissance des racines de *Medicago sativa*.

L'analyse de la variance effectuée le 15^{ème} jour du test pour le paramètre « vitesse de croissance des glumelles », donne un « P=0 », qui est inférieure à 0,05, il existe donc une différence hautement significative pour le paramètre vitesse de croissance des racines chez *Medicago sativa* qui germent dans différents substrats et à concentrations variables formant aussi Sept (7) groupes statistiques: T2CaSO₄, T4CaSO₄ dans (groupe A) ; T1CaSO₄, T3CaSO₄, T3CaCO₃ et T₀ (groupe AB) ; T3CaSO₄ (groupe ABC) ; T4CaCO₃ et T5CaSO₄ dans (groupe BCD) ; T2CaCO₃ dans (groupe CD) ; T1CaCO₃ dans (groupe DE) T5NaCl dans (groupe E).

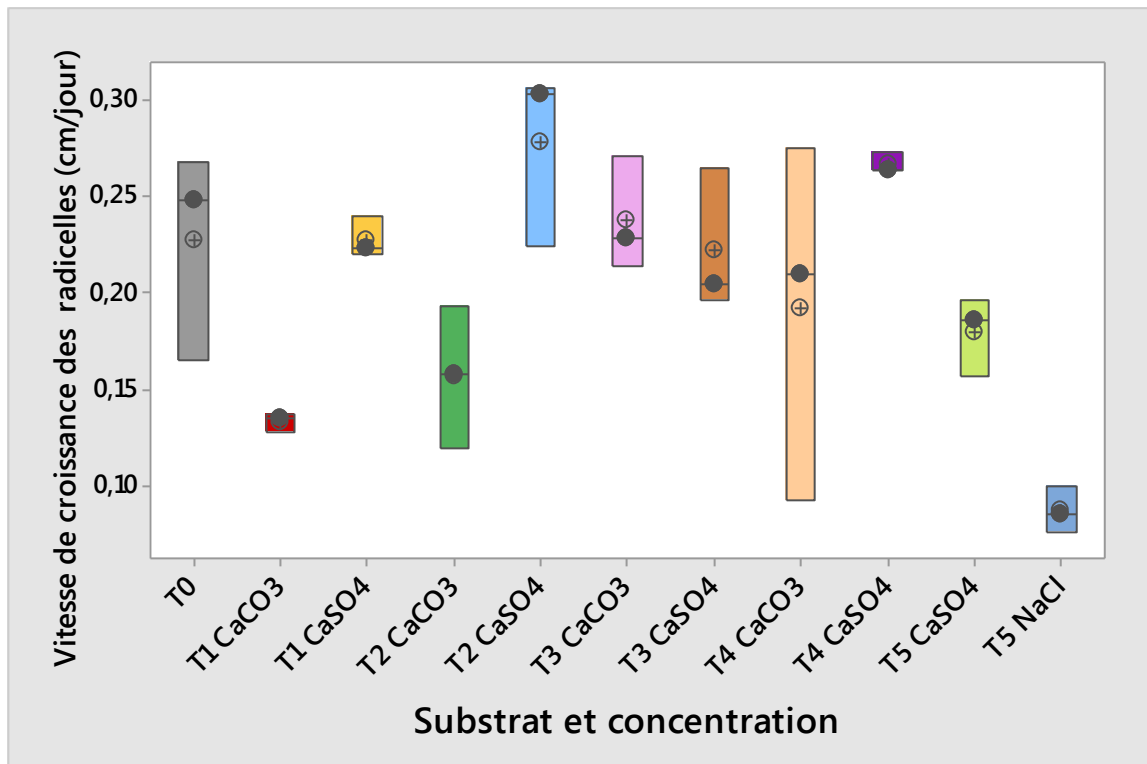


Figure 07 : Vitesse de croissance des racines de *Medicago sativa* germant dans différents substrats et à concentrations variables.

III.1.4 - La durée médiane de germination

La figure 08, représente, la variation de la durée moyenne de germination selon les différents substrats. Une durée moyenne de germination de 1,5 jour est observée lors de la germination dans le substrat calcaire avec les différentes concentrations de CaCO₃, les 4 premières concentrations de CaSO₄, ainsi que pour le témoin T0. En ce qui concerne le traitement avec le substrat T5NaCl, les graines de *Medicago sativa* ont une durée médiane de germination la plus faible. En revanche la durée médiane de germination est optimale dans le substrat de T5CaSO₄.

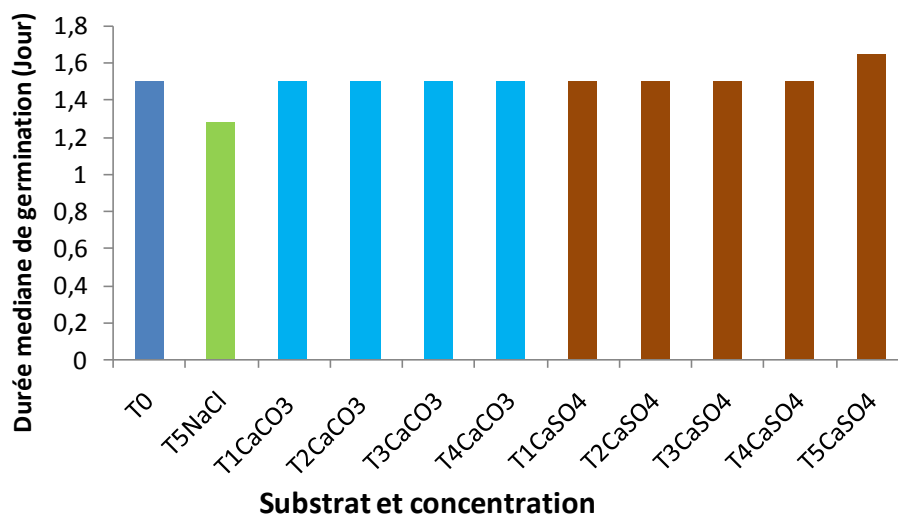


Figure 08 : Variation de la durée médiane de germination des graines *Medicago sativa* dans différents substrats et à concentrations variables.

III.1.5 - La Germination journalière moyenne

La variation de la germination journalière moyenne des graines de *Medicago sativa* dans différents substrats est représentée par la figure 09. La germination journalière moyenne la plus élevée 0,18 est observée lors du traitement avec l'eau distillée T₀, comparé aux autres traitements. Néanmoins une germination journalière moyenne proche à celle du témoin et est > 0,17, est observée pour l'ensemble de traitements de CaCO₃, pour T1 CaSO₄, et T4CaSO₄.

Les résultats de la germination journalière moyenne dans les différents substrats (Figure 09), montre que l'augmentation de concentration en CaCO₃ est accompagnée par une augmentation dans la germination journalière moyenne des graines de *Medicago sativa*.

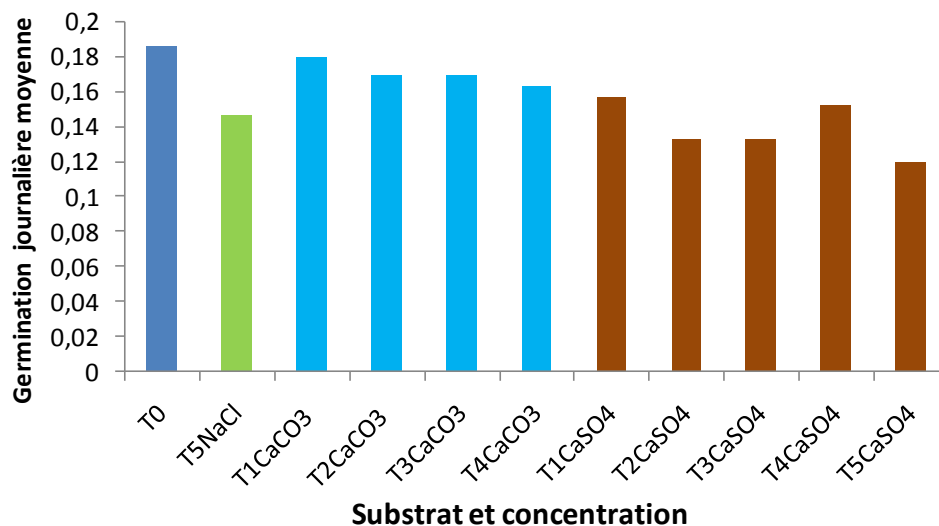


Figure 09 : Variation de la germination journalière moyenne des graines de *Medicago sativa* dans différents substrats.

III.1.6 - L'indice de Vigueur

La figure 10 représente l'indice de vigueur des graines de *Medicago sativa*, germant dans différents substrats et à différentes concentrations. Les résultats montrent que *Medicago sativa* a une meilleure résistance dans les milieux contenant du CaSO_4 avec un indice de vigueur de 5,82 pour T4CaSO₄. En ce qui concerne les substrats de CaCO_3 , l'indice de vigueur le plus élevé (4,64) est observé pour T3CaCO₃, qui est légèrement supérieur au témoin (4,63). En revanche dans un milieu contenant du NaCl, *Medicago sativa* pourrait subir un stress dû à ce substrat, étant donné que les indices de vigueurs les plus faibles sont notés dans ce milieu (1,60) pour T5NaCl.

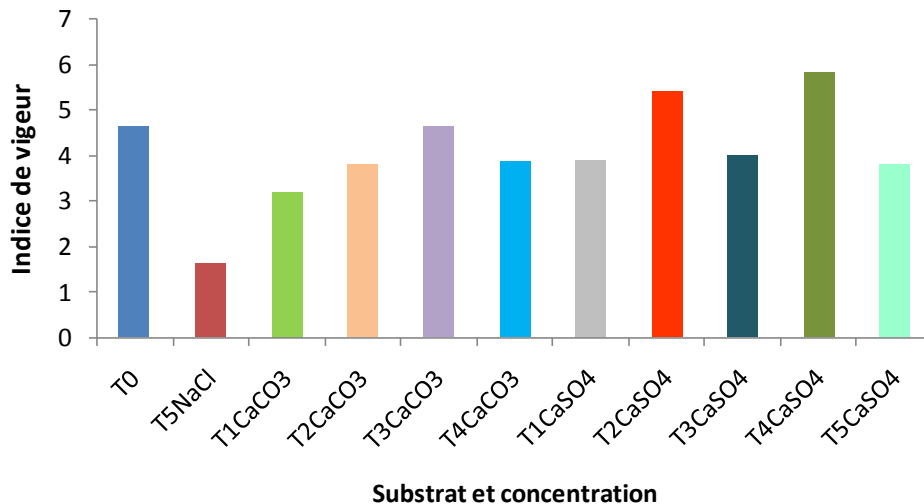


Figure 10 : Indice de vigueur des graines de *Medicago sativa*, germant dans différents substrats et à concentrations variables.

III.1.7 - Proline accumulée dans les glumelles

Les résultats obtenus dans la figure 11, montrent que la proline est produite par les parties aériennes de *Medicago sativa*, et que cette dernière se développe dans différents substrats et à différentes concentrations. On remarque une augmentation de la teneur en proline chez les plantules qui se développent dans les substrats concentrés par rapport au témoin. On observe que la teneur la plus élevée $> 0,08$ mmol/kg MF en proline accumulée est enregistrée au niveau de la concentration T1CaSO₄ et T2CaSO₄ et T5NaCl.

L'analyse de la variance réalisée sur la teneur en proline révèle un effet très hautement significatif. Au seuil $\alpha = 5\%$ la proline accumulée dans les parties aériennes des plantules de *Medicago sativa*, est représentée selon les groupes suivants : T1CaSO₄ (groupe A), T2CaSO₄ (groupe AB), T5NaCl T₀ (groupe ABC), T4CaSO₄ T1CaCO₃ T3CaSO₄ T5CaSO₄ (groupe BC), T2CaCO₃ T3CaCO₃ T4CaCO₃ (groupe C).

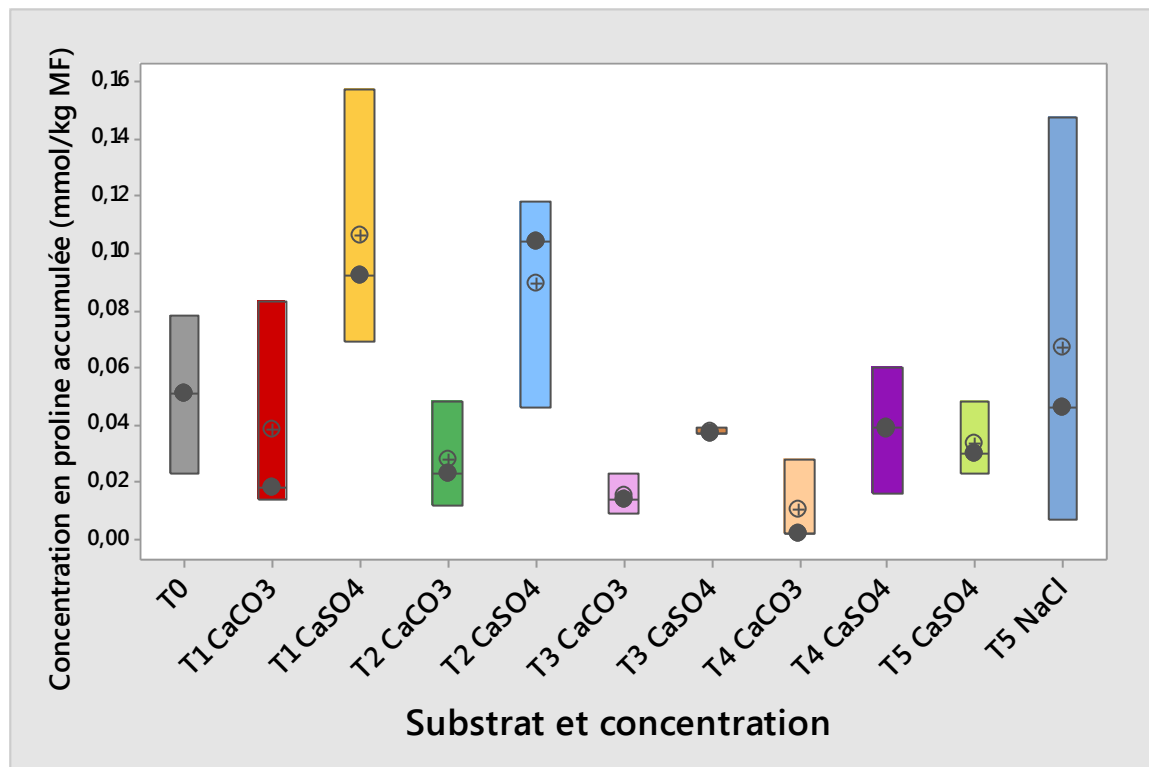


Figure 11 : Variation de la teneur moyenne en proline chez *Medicago sativa* dans différents substrats et différentes concentrations.

III.1.8 - Analyse en composante principale (ACP)

L'analyse en composante principale (ACP), permet de visualiser les corrélations entre les substrats, leurs concentrations et les paramètres mesurés. A travers la (figure 12), nous observons que les substrats gypseux (CaSO₄) et Calcaire (CaCO₃), sont le plus liés aux paramètres mesurés cela est représenté par des valeurs maximums de : 58,4% pour le taux de germination ; 54% pour la durée médiane de germination ; 52% pour la germination moyenne

journalière ; 71, 7% pour la longueur des glumelles ; 70% pour la longueur des radicelles ; 92% pour la vitesse de croissance des glumelles ; 91% pour la vitesse de croissance des radicelles, et 90% pour l'indice de vigueur. Cependant, une médiocre et une négative corrélation des paramètres mesurés sont observées dans le substrat salin sodique (NaCl).

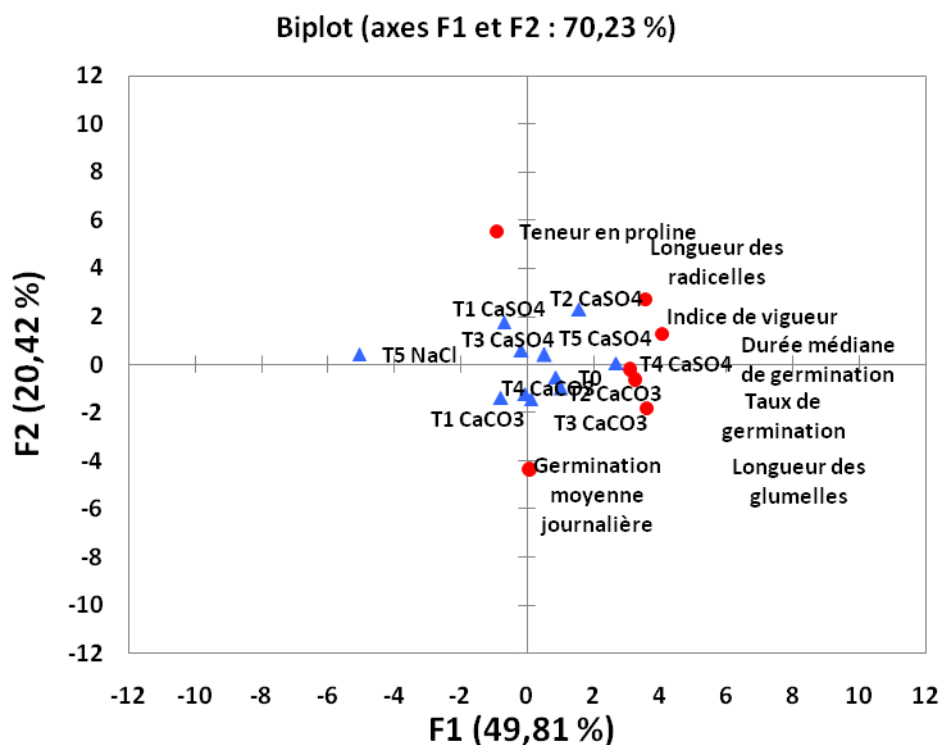


Figure 12 : Analyse en composante principale des paramètres mesurés sur *Medicago sativa* en relation avec le substrat dans lequel elle germe.

III.2 -Discussion

L'étude de la germination des graines de *Medicago sativa* a montré qu'elles présentent des comportements germinatifs variés vis-à-vis les traitements utilisés. L'effet du traitement de sulfate de calcium (CaSO₄) et de carbonate de calcium (CaCO₃) est positif sur le taux de germination. Au niveau de la croissance des glumelles le T4CaSO₄ a une meilleure longueur.

Concernant les racines le meilleur traitement est celui T2CaSO₄, T4CaSO₄, Pour cela on peut conclure que le meilleur substrat pour la germination est (CaSO₄) comparativement aux autres traitements. A propos des milieux de NaCl on remarque une inhibition totale dans les concentrations T1NaCl, T2NaCl, T3NaCl et T4 NaCl d'autre part dans T5NaCl on constate une croissance importante par rapport à la précédente concentration.

Le dosage de la proline montre que la proline est élevée dans T1CaSO₄, T2CaSO₄ et T5 NaCl.

Donc on peut déduire que la luzerne semble être bien adaptée au milieu gypseux même au milieu calcaire mais un peu moins réduite que le milieu précédent.

Selon l'**F.A. O (1990)**, lorsque les sols gypseux ne contiennent que peu de gypse dans les 30 premiers centimètres du sol, ils peuvent être utilisés pour la production de petites céréales, de coton, luzerne, etc... Les cultures sèches sur un sol gypseux profond nécessitent l'utilisation d'années de jachère et des techniques de collecte d'eau, et cela donne peu de résultats dans des conditions climatiques défavorables. De nombreux sols gypseux dans les (jeunes) dépôts alluviaux et colluviaux ont relativement peu de gypse. Ces sols peuvent être très productifs s'ils sont correctement irrigués. Même les sols contenant 25 % de gypse en poudre ou plus peuvent encore produire d'excellents rendements en luzerne, blé, abricots, dattes, maïs et raisins, sa explique la longueur optimale des racines de T4CaSO₄.

Selon **Mashali (1996)**, la présence des teneurs élevées en Ca²⁺ et en SO₄⁻² dans la solution affecte la croissance des plantes, leur productivité et la disponibilité des éléments nutritifs, ceci traduit par une pression osmotique élevée qui réduit l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs par la plante, pour cela le T1CaSO₄ a une faible longueur au niveau des glumelles.

D'après **Cairns et al (1981)**, la réduction de la croissance de la plante, où le gypse est appliqué, a été associée à des changements probables de l'activité microbienne et à l'immobilisation de l'azote. Dans les sols sableux à haute teneur en gypse (25-50%), toutes les cultures ont été touchées mais l'oignon et la luzerne ont donné des bons rendements (**Mashali, 1996**).

Dans les régions arides et semi-arides, où le gypse se comporte comme un constituant semi - soluble dans le sol et où sa présence au-delà d'un certain seuil, affecte la croissance des plantes et leurs productivités (**F.A.O, 1990**).

La fertilisation des sols gypseux améliore la croissance des plantes et élève le rendement (**Kovda, 1954**).

Van Alphen et Rios Romero (1971) considèrent que les teneurs inférieures à 2% de gypse sont favorables au sol, le gypse améliore la stabilité structurale des sols salés (**Sidi et Pansu, 1982**), c'est une source de calcium et de sulfates pour les plantes.

Jarwel et al (1999) ont constaté l'effet positif des teneurs croissantes de gypse sur quelques productions agricoles.

Mardoud (1981) mentionne que, les sols modérément gypseux, avec moins de 10% de gypse dans la couche de 25 à 45cm de profondeur et jusqu'à 35 -50% de gypse à 60 cm de profondeur, sont appropriés pour la profondeur d'enracinement des récoltes. Le blé, orge, trifolium, le coton, betterave sucrière, la pomme de terre, la luzerne, le maïs, sorgho, la tomate et le sésame ont donné des rendements très satisfaisants.

Selon **INRA (1995)** les cultures les mieux adaptées à la présence du gypse sont les palmiers et la luzerne aussi betteraves, fève.

Sidi et Pansu (1990) ont montré l'effet favorable d'une teneur de 1 % de gypse sur la stabilité structurale d'un sol salé et non carbonaté.

Le calcaire fournit le calcium qui provoque la floculation des colloïdes minéraux et organique du sol, action nécessaire à l'établissement d'un état structural, et permet au sol de créer les réserves, en éléments nutritifs (**Eliard, 1979**). On sait que l'humus calcique est le meilleur ciment des agrégats, le calcium est nécessaire aussi à l'édification de tissus de végétaux (**Mathieu et al, 2003**).

Mais quand le calcaire se trouve dans le sol à la fois en quantité trop forte, les conséquences pour les plantes peuvent être fondamentales, ce qui explique que l'on distingue classiquement des plantes, cultivées ou spontanées, résistant au calcaire « calcaro- tolérantes » et des plantes souffrantes, « plantes calcifuges ». Ces effets néfastes pour la plante peuvent être compensés par d'autres facteurs pédologiques : texture argileuse, bilan hydrique, etc..... (**Baize et Girard, 1995**). En outre, le calcaire fin bloque certains éléments indispensables aux plantes comme le fer, B, Cu, Mn, Zn, en solubilisation de la calcite au niveau des racines dont le fonctionnement se trouve perturbé, obstacle à la minéralisation de la matière organique par effet d'enrobage (**Morel, 1996**),

La présence de calcaire en grande quantité, dans le sol affecte sa qualité, baisse la fertilité et par conséquent la production végétale (**Djamila, 2008**), pour cela on voit que le T1CaCO₃ a une longueur inférieure par rapport aux autres traitements au niveau des glumelles et des radicules. D'après ces citations on peut expliquer les résultats obtenus dans notre travail (cas de T1 CaCO₃).

D'après **Duchaufour (2001)**, généralement le calcium présent en quantité suffisante pour assurer les besoins des plantes sur sol cultivés, la luzerne est exigeante de ce cation par conséquent cette dernière ne peut être crue sur un sol dé saturé.

Chaabena (2001), indique que la luzerne est très exigeante en calcium, donc la diminution des taux du calcium dans le sol est interprétée par l'absorption de la culture suivant leurs besoins saisonniers.

Asloum (1990), note que la croissance des plantes diminue essentiellement en fonction de la concentration en NaCl.

Selon **Marbel (1993) et Farissi et al (2011)**, la luzerne ne tolère pas la salinité élevée du sol. L'effet de la salinité sur les plantes se manifeste par un effet osmotique et/ou ionique (Na^+ et Cl^-), inhibant les différents processus physiologiques et biochimiques qui gouvernent leur croissance et leur développement. L'effet du NaCl sur la germination serait essentiellement de nature osmotique comme le soulignent plusieurs auteurs (**Katembe et al., 1998 ; Debez et al., 2001**). Dans ce présent travail, l'évaluation de l'effet de la nature chimique du substrat sur la germination levée de la luzerne a montré que la contrainte saline a engendré des réductions significatives de la germination, la croissance de la majorité des plantes est réduite ou inhibée quand la concentration en sel (NaCl) augmente cet effet n'a pas été autant observé dans les autres substrats calcaire et gypseux.

La réduction des biomasses aérienne et racinaire sous l'effet des fortes concentrations de sel a été rapportée chez la luzerne par plusieurs auteurs (**Mezni et al., 2002 ; Ibriz et al., 2004**).

Les effets néfastes de la salinité sont généralement traduits sur la croissance et le développement des plantes aux niveaux moléculaire, biochimique et physiologique (**Hanana et al., 2011**).

Concernant la proline, le contenu foliaire en proline a été suggéré comme un marqueur des stress (**Ruiz et al, 2005 in Bensaci, 2011**), donc les plantes les plus stressées sont celles qui ont germé dans les substrats T1CaSO₄, T2CaSO₄ et T5NaCl.

En effet, dans les milieux salés, les plantes synthétisant des acides aminés comme la proline ce qui traduit le caractère de la résistance aux stress (**Belkhodja et al.,2007**), chez la luzerne plusieurs études ont montré que la salinité provoquait l'accumulation de proline (**Farissi et al., 2014**).

Plusieurs recherches ont montré la réduction de croissance de plantes en raison du stress salin, chez la tomate (**Romero-aranda et al.,2001**), le coton (**Meloni et al., 2001**) et la

betterave à sucre (**Ghoulam et al., 2002**). Cependant, des différences dans la tolérance à la salinité sont notées entre les espèces et les variétés ainsi parmi les différents paramètres de la croissance de plantes mesurées

Plusieurs études ont montré que le sel a un effet dépressif sur le taux de germination, sur la croissance biologique et sur la production de grains (**M'barek et al., 2001**).

Conclusion

Conclusion

Ce mémoire nous permet de conclure que les graines de *Medicago sativa* ont manifesté une germination meilleure dans le milieu gypseux et calcaire notamment nos résultats ont démontré que :

- ❖ Le taux germination est très faible à nul dans les milieux salins, une concentration en NaCl qui dépasse 2,5% pourrait bloquer les flux d'eau entrant dans les graines de la plante ; le milieu gypseux par contre serait le meilleur alors que dans le milieu calcaire la plante a présenté un taux de germination moyennement élevée.
- ❖ La durée médiane de germination est presque égale dans tous les milieux et un peu faible dans le milieu salin.
- ❖ La germination moyenne journalière est meilleure dans les milieux calcaires.
- ❖ La longueur des glumelles et celles de radicules ainsi que la vitesse de croissance sont réduites dans le milieu salin par contre dans les milieux gypseux et calcaires elles sont plus accentuées
- ❖ La plante est plus vigoureuse dans le milieu gypseux, cependant dans le milieu calcaire et dans le milieu salin elle a présenté une très faible résistance.
- ❖ La teneur en proline est plus élevée dans le milieu gypseux aussi dans le milieu salin.

L'Analyse en composante principale (ACP), a révélé que la germination de *Medicago sativa* est relativement bonne dans les milieux gypseux et calcaires, contrairement en milieu salin la germination des graines de la plante est beaucoup moins faible.

Ces résultats ouvrent de nombreuses perspectives intéressantes de recherches en physiologie mais également il serait en effet intéressant de :

- ❖ Compléter ces résultats par autre indicateur comme la température, le pH et la conductivité électrique dans les différents milieux à différentes concentrations.
- ❖ Réaliser des dosages des sucres et chlorophylle afin de mieux appréhender les effets de la nature de milieu sur le métabolisme de la plante.
- ❖ Réaliser l'expérience en pleins champs ou sous serre.
- ❖ Réaliser le dosage d'azote pour les différents milieux.

❖ Faire des tests au niveau moléculaire de la plante pour savoir l'effet de sol sur la génétique de la plante.

❖ Effectuer la même expérience pour tester en parallèle l'effet de nature de du sol (texture, structure) et la dose d'irrigation sur le comportement germinatif de la plante.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdelguerfi A, (1987)- Quelques réflexions sur la situation des fourrages en Algérie. Céréaliculture 16 : 1-6.
- Abdelguerfi A., 1992- L'utilisation des luzernes annuelles dans les systèmes de pâturage en Algérie. Herba, 5 : 45-51.
- Alonso Jorge, R. (2004). Tratado de Fitofarmacos y Nutracéuticos'. 1^{er} Ed. Editorial
- Asloum H, (1990)-Elaborations d'un système de production maraîchère (Tomate : *Lycopersicum esculentum*.) En culture hors sol pour les régions Sahariennes, utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres" thèse, doc, Université de Nice, pp. 59, 63-64.
- Baize D et Girard B., (1995) - Guide pour la description des sols. INRA. Paris, 375p.
- Ben Saci Y., Mohamed Abed S., (2011). Etude de quelques marqueurs biochimiques de la résistance à la salinité chez la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) dans deux régions saharienne Ouargla et Oued Souf. Thèse, d'enseignement supérieur, université Kasdi Merbah-Ouargla. P : 65.
- Bentvelsen C.L.M., (1980)- Réponse des rendements à l'eau. Eds. Denaud. 235p.
- Bewley, J.D., (1997) - Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9(7): 1055–1066.
- Birouk A., Bouizgaren A., Baya B., (1997). Luzerne (*Medicago sativa*). In : Production et utilisation des cultures fourragères au Maroc, Jaritz G. et Bounejmate M. (éds.). INRA, Rabat.Maroc. pp: 126-139.
- Boudour K., (2012)- Contribution à l'étude de la valeur alimentaire de quelques variétés de luzerne pérenne cultivées dans le bas Chélif. Thèse magistère 113pages
- Bouizgaren A. (2007) - Fiche technique de la culture de la luzerne au Maroc : Technique de production fourragère et semencière, Publication INRA, Marrakesh, 27 p.
- Broderick G.A., (2001)-Maximizing utilization of alfalfa protein; the example of the lactating dairy cow. *Options Méditerranéennes*. 45 : 183-192.
- Brooker C. (2007)- Le corps humain étude, structure et fonction. Ed. De Boeck Université. 2-4p
- Cairns R.R., Lavado R.S., Webster G.R., (1981)-Yield depression caused by gypsum applied in combination with NH₄ NO₃, to a Solonchic soil. *Investigaciones Agrícolas* 16, b-10.
- Camille M., (1980)- Fourrages. Ed. La maison rustique. Paris. 302p
- Chaabena, A. (2001). Situation des cultures fourragères dans le sud-est septentrionale du Sahara algérien et caractérisation de quelques variétés introduites et population sahariennes de la luzerne cultivée, thèse de Magis. Agro. INA EL Harrach, 141 p.
- Childers W.R., (2008)- Encyclopédie Canadienne ([http://www. The Canadian encyclopedia.com](http://www.TheCanadianencyclopedia.com)).
- Clément M et Pieltain F., (2020)- Analyses chimiques des sols. Editions TEC& DOC. 386P
- Collin F. et L.Brun L. avec la participation de Deneufbourg F., Brouqsault LM., Hacquet J., Wohrer J. et Lizot JF., (2003)- Produire des semences de luzerne dans un itinéraire agrobiologique. ITAB, édition Paris.
- Côme D, (1970)- Les obstacles à la germination. Masson et Cie. 162 pp. CORPUS Rosario, Argentina . 120-124.
- Djamila.M, (2008)- Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques zone a déficit hydrique, Mémoire de Magister, p118.
- Duchaufour P., (2001)- Introduction à la science du sol, sol, végétation, environnement. Ed Dunod, Paris 331 p.
- Eliard J.L., (1979) - Manuel d'agriculture générale. ed. J.B. Baillière. Paris, 344 p.

- Erice G., Louahlia S., Irigoyen J.J., Sánchez-Díaz et Avice J.C., (2010) - Biomass partitioning, morphology and water status of four alfalfa genotypes submitted to progressive drought and subsequent recovery. *Journal of Plant Physiology*. 114-120.
- FAO, (1990)- Management of gypsiferous soils. *Soils Bulletin* 62,FAO,Rome, 81 p.
- Hajlaoui H, Denden M. et Bouslama M., (2007)- *Tropicultura*, 25 (3), 168-173.
- Hireche Y.,(2006), Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Thèse magister 83 pages.
- Hnatyszyn, M. et Guais, A. (1988)- Les fourrages et l'éleveur. *Agriculture d'aujourd'hui*. Science- techniques et application. P 450 .
- Hopkins W.G., (2003)- *Physiologie Végétale*. Traduction de la 2ème édition américaine par Serge.R. Ed. de Boeck, p. 66-81.
- Ibriz A, Thamialami I, Zenasni L, Alfaiz C, Benbella M (2004)- Productions des luzernes des régions présahariennes du Maroc en conditions salins. *Fourrages* 180, pp527-540.
- INRA , 1995 , référentiel pédologique ,paris P161-165.
- Jarwal S.D. Armstrong R.D. et Rengasamy P.,(1999)- Effect of Gypsum and Stubble retention on Crop productivity in Western Victoria. *The Austral.soci.agron*.
- Khan M.A., Gulzar S, (2003) - Germination responses of *Sporobolus ioclados*: a saline desert grass. *Journal of Arid Environments* 53: 387–394.
- Kovda V.A., (1954)- La géochimie des déserts de l'URSS. Communication au 5ème Congrès international de la science du sol. L'académie des sciences, Moscou.
- Lapevronie A., (1982)- Les productions fourragères méditerranéennes. Eds. Maisonneuve et Larose, Tome1, 445p
- Labonne, M. (1976)- *Luzerne et facteur climatique* Bordeaux, Paris .342p.
- Chedjerat Hnatyszyn Abed, (2017)- Comportement de seize cultivars de luzerne pérenne (*Médicago sativa* L.) Conduits en pluvial et en irrigué dans les conditions du Bas Chélif, thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRONOMIE El-Harrach, P116.
- Marble V. L., (1993)- Des fourragères pour le proche- orient : La luzerne, Etude FAO production végétale et protection des plantes 97/1, FAO, Rome, 237p.
- Mardoud T.,(1981)- Gypsiferous soils in the Balikh Bassin – Characteristics and productivity. *Soils Taxonomy Workshop*. ACSAD. pp 308-320
- Mashali A.M., (1996)- Soil management practices for gypsiferous soils. *International symposium with gypsum*. Leida. Spain, pp: 34-51
- Mathieu C et Pieltain F., (2003)- *Analyse chimique des sols*. Ed. Tech et doc. Lavoisier, Paris, 292p.
- Mauriès M., (1994)- *La luzerne aujourd'hui : vaches laitières, vaches allaitantes, brebis, chevaux, chèvres*. Ed. France Agricole. Paris p 254.
- Mauriès M., (2003)- *Luzerne : culture, récolte, conservation, utilisation*. Ed. France Agricole. Paris. 240p.
- Mazliak P., (1982) - *Croissance et développement*. *Physiologie végétale II*. Hermann ed., Paris, Collection Méthodes, 465p.
- Meot-Duros L ; Magné C, (2008)- Effect of salinity and chemical factors on seed germination of the halophyte (*Crithmum maritimum* L.). *Plant Soil* 313: 83–87.
- Midoun N. et Kadri A. , (2015)- effet du stress salin sur quelques paramètres biochimiques de la luzerne cultivée (*medicago sativa* l.) mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master académique, université kasdi merbah ouargla,p53
- Morel R., (1996)- *Les sols cultivés*. Lavoisier. 2eme édition. Paris, P .378 .
- Moule C, (1971)- *Fourrages*. Tome1. La maison rustique. Paris. 174-181.
- Munro D. B, et Small E., (1997)- *Les légumes du Canada*.NRC ResearchPress. 436p.

- Nedjai, M. (1973)- Nutrition et alimentation des ruminants: Cas concertés. Ed. Institut Technique d'élevage. P 20.
- Osborne J.M., Fox J.E.D. et Mercer S., Lieth H. & Al Masoom A. (1993) - Towards the Rational Use of High Salinity Plants, 1, 323-338. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 521 pp.
- Penhouet R., (2008)- La luzerne. Département Agronomique-Machinisme de la chambre d'agriculture Maine-Loire N° 26.
- Prosperi J.M., Guy P., Genier G. Angervain M., (1995)- Ressources génétiques des plantes fourragères et à gazon. Ed. INRA. Paris. p320.
- Qin J., Dong W.Y., He K.N., Yu Y. et al. (2010)- NaCl salinity induced changes in water status, ion contents and photosynthetic properties of *Shepherdia argentea* (Pursh) Nutt. Seedlings. *Plant Soil Environ* 56: 325-332 .
- Quézel, P et Santa S, (1962)- Nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. Centre national de la recherche scientifique tome I, 1170p.
- Rochat O., (2005)- Culture et utilisation de la luzerne. Association pour le développement de la culture fourragère (ADCF). Domaine de Changins, 1260 Nyon.
- Scott S.J, Jones R.A. et Williams W.A. (1984)- *Crop science*, 24(6), , 1192-1199. *Soc Agriculteurs d'Algérie* 1953(551): 1-20.
- Sidi H. Pansu M., (1990) - Effets d'apports organiques et de gypse sur la stabilité structurale de deux sols méditerranéens. *Science du sol.* (28)3 : 237-253
- Soltner D, (1999) - Les grandes productions végétales. 19eme édition. Science et techniques agricoles. P 464.
- Talamucci, P.,(1994)- Lucerne role in farming systems, technical itineraries and managements for different uses in diverse physical and socio-economic environments. Dans : *Eucarpia/FAO Medicago Meeting : Culture, Exploitation et Sélection de la Luzerne Pérenne pour Différentes Utilisations*, Lusignan (France), 4-8 septembre 1994. Publication FAO-REUR Technical Series, 36 : p 6-17 .
- Van Alphen, De Los Rios Romero F. (1971)- Gypsiferous soils, notes on characteristics and management. *Int. Inst. of Land Recl. And Improve. Bulletin* 12. Wageningen, the Netherlands.

Web graphie

- <https://agronomie.info/fr/le-stress-sa>

-<http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/gestion-des-sols-a-problemes/gestion-des-sols-gypseux/fr/>

-https://aube.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Grand-

[Est/046 Inst Aube/Interface/RUB techniques et innovation/Cultures/guide technique bio/Cultures fourrag%C3%A8res/421_Luzerne.pdf](https://aube.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Grand-Est/046_Inst_Aube/Interface/RUB_techniques_et_innovation/Cultures/guide_technique_bio/Cultures_fourrag%C3%A8res/421_Luzerne.pdf)