

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



Centre Universitaire - Salhi Ahmed - Naâma

Institut des Sciences et de Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Laboratoire de recherche :

Gestion durable des ressources naturelles dans les zones arides et
semi-aride

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER Académique

En Sciences Biologiques

Spécialité : Biodiversité et physiologie végétale

Présenté Par :

HELLOU Daouia

Thème

**Etude de l'effet d'un fertilisant (MAP) sur la
croissance du sorgho « *Sorghum bicolor (L) Moench* »**

Soutenu le : 28 /09/2022.

Devant le jury :

Président : Dr NOURI Tayeb

MCA, Centre Universitaire de NAAMA

Examineur : Dr MAHDAD Yassine

MCB, Centre Universitaire de NAAMA

Encadreur : Dr Babou Fatima zohra

MCB, Centre Universitaire de NAAMA

Année universitaire 2021/ 2022

Remerciements

*En préambule à ce mémoire je remercie **ALLAH azza wa jal** qui m'aide et me donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.*

*Je remercie **mes parents**, et surtout **mon père** allah yrahmo, merci **Papa**, aujourd'hui je marche sur tes pas de miel. Allah yrahmak w ywassaa alik.*

*Mes sincères remerciements à mon encadrant **Mme Babou Fatima Zohra**, pour l'orientation, la confiance et la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.*

Aux membres de jury de bien vouloir examiner et juger ce modeste travail :

Dr NOURI T.

Dr MAHDAD Y.

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous **les enseignants** qui m'ont enseigné et qui par leurs compétences m'ont soutenu dans la poursuite de mes études.*

Je remercie tout le personnel de laboratoire de biologie, chimie et écologie.

Particulièrement :

Mr. ALIOUA M et Mr OTMANI A

*A **ma famille** et **mes amies** qui par leurs prières et leurs encouragements, j'ai pu surmonter tous les obstacles.*

Enfin, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Merci à tous et à toutes

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à :

Mes très chers parents :

Aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer à leur juste valeur la gratitude et l'amour que je vous porte.

Mon cher père HELLOU Ahmed :

Perdre mon père, c'est perdre une partie de moi. Quelqu'un qui a toujours été là, pour le meilleur et pour le pire. C'est perdre mon meilleur professeur, celui qui m'a appris tellement de choses. C'est perdre mon meilleur ami, mais c'est surtout perdre quelqu'un qui a toujours été là pour moi.

Ce ne sera pas facile, mais comme tu m'as toujours enseigné d'être forte, j'arrive. J'y arriverai, car je sais que ce que tu souhaites le plus pour moi, c'est le bonheur, et ce diplôme qui a été un rêve pour toi et je le fais pour toi, pour t'honorer, comme tu as toujours tout fait pour moi. Tu m'as fourni tout ce qu'une fille peut demander, et encore plus, ce qui m'a permis de devenir ce que je suis aujourd'hui et j'en suis fière d'être ta petite fille. Je sais, tout le monde croit avoir le meilleur père... Mais, je suis là pour dire que le mien était le meilleur.

***Papa**, tu laisses un grand vide dans ma vie, mais sache qu'il y aura toujours une place pour toi dans mon cœur. Même si tu ne sembles pas être avec moi, que je ne peux pas te toucher, te voir ni t'entendre, je sais que tu veilleras toujours sur moi, comme tu l'as toujours fait. J'aurais souhaitée votre présence en ce moment pour partager ma joie mais ...*

Papa, tu me manques vraiment ... Je t'aime.

*A **ma très chère mère**, ma source d'amour, de tendresse, de générosité et de courage, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

Chaque ligne de ce mémoire, chaque mot et chaque lettre vous exprime : la reconnaissance, le respect, l'estime et le merci d'être mes parents.

A mes très cher frères et sœurs qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études, que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

*A leurs **petits anges**, qui savent toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.*

A mes oncles et mes tantes, que dieu leur donne une longue vie.

A l'homme de ma vie, mon soutien moral et source de joie, pour l'encouragement et l'aide qu'il m'a toujours accordé.

*À mon encadreur **Mme BABOU FATIMA ZOHRA**.*

À tous mes enseignants.

À mes amies et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis MERCI.

Dacouia

Etude de l'effet d'un fertilisant (MAP) sur la croissance du sorgho

Résumé :

Ce travail vise à étudier l'effet du MAP sur la croissance du sorgho en présence du CaCO_3 . Un semi est fait sur une variété de sorgho « *Sorghum bicolor* (L) Moench », dans des cylindres en plastique avec un diamètre de 25 cm à raison de 32 pots. Les plantes ont été soumises à des traitements de CaCO_3 (1%, 3%, et 5%) pendant 1 mois. Le fertilisant MAP est mélangé avec le sol de 16 pots (1.6 g de fertilisant MAP) pour étudier son effet sur la croissance et d'autres paramètres chez le sorgho en présence de CaCO_3 . Les résultats montrent que la présence de CaCO_3 conduit à une augmentation en longueur et en poids frais et sec de la partie aérienne et souterraine et cela en absence et en présence du MAP et surtout sous l'effet de 1% du calcaire. Une accumulation en CaCO_3 analysée du sol, en chlorophylle a et b sous l'effet du calcaire seul et en chlorophylle b seulement sous l'effet combiné du calcaire et du MAP avec une chute en chlorophylle a sous l'effet du MAP et du calcaire est signalée dans nos résultats. Cela montre une certaine relation entre le CaCO_3 et le MAP qui ont un bon effet sur la croissance du Sorgho.

Mots clés: Sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)), croissance, chlorophylle, MAP, CaCO_3 .

ملخص:

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير على نمو الذرة الرفيعة في وجود كربونات الكالسيوم، الزراعة تمت على نوع من الذرة الرفيعة في اسطوانات بلاستيكية بقطر 25 سم ، خضعت النباتات لمعاملات كربونات الكالسيوم (1% ، 3% ، 5%) لمدة شهر، قمنا بإضافة 1.6 غ من السماد المدروس لنصف الاسطوانات أي 16 وعاء لدراسة تأثيرها على نمو الذرة الرفيعة في وجود كربونات الكالسيوم، أظهرت النتائج أن وجود كربونات الكالسيوم يسبب زيادة في عدد ووزن الجذور والأوراق عند استخدام السماد تحت تأثير 1٪ من الحجر الجيري، كما سجلنا انخفاض حاد في مستوى الكلوروفيل "ا" تحت تأثير الحجر الجيري في جميع النباتات وفي وجود سماد فوسفات أحادي الأمونيوم، بالنسبة للكلوروفيل "ب" تم تسجيل تراكم ملحوظ تحت تأثير التراكيز الثلاثة المستخدمة في هذه التجربة، هذا يدل على وجود علاقة معينة بين كربونات الكالسيوم وسماد فوسفات أحادي الأمونيوم والتي لها تأثير جيد على نمو الذرة الرفيعة .

الكلمات المفتاحية: الذرة الرفيعة، النمو، الكلوروفيل، كربونات الكالسيوم، فوسفات أحادي الامونيوم.

Abstract:

This work studies the effect of MAP on the growth of sorghum in the presence of CaCO₃. A seed is sown on a variety of sorghum "*Sorghum bicolor* (L) Moench", in plastic cylinders with a diameter of 25 cm. The plants were subjected to CaCO₃ treatments (1%, 3%, and 5%) for 1 month; and we added 1.6 g of MAP fertilizer for half of the pots (16 pots), to study their effect on the growth of sorghum in the presence of CaCO₃. The results show that the presence of CaCO₃ causes an increase in the number and weight of roots and leaves when using MAP under the effect of 1% limestone. A sharp drop in chlorophyll a under the effect of limestone in all plants and in the presence of MAP. For chlorophyll b, a significant accumulation is recorded under the effect of the 3 concentrations used in this experiment. This shows a certain relationship between CaCO₃ and MAP which have a good effect on the growth of Sorghum.

Keywords: Sorghum (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)), growth, chlorophyll, MAP, calcium carbonate

Liste des tableaux

Tableau 01 : Comparaison des teneurs en grains du sorgho et du Naâma.....	04
Tableau 02 : Production annuelle (millions de tonnes) du sorgho des principaux pays producteurs ..	05
Tableau 03 : Les caractéristiques de la serre automatisée du centre universitaire de Naâma.....	20
Tableau 04 : La longueur (cm) des deux parties du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) (partie aérienne et racinaire) sous l'effet de CaCO ₃ et sans l'utilisation du fertilisant MAP	29
Tableau 05 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du CaCO ₃ et du MAP sur la longueur de la partie aérienne du sorgho	29
Tableau 06 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du CaCO ₃ et du MAP sur la longueur de la partie racinaire du sorgho.....	30
Tableau 07: La longueur (cm) des deux parties du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) (partie aérienne et racinaire) sous l'effet de CaCO ₃ et l'utilisation du fertilisant MAP	31
Tableau 08 : : Le poids frais (g) des deux parties du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) (partie aérienne et racinaire) sous l'effet de CaCO ₃ et sans l'utilisation du fertilisant(MAP).....	33
Tableau 09: L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du CaCO ₃ et du MAP sur le poids frais de la partie aérienne du sorgho.....	33
Tableau 10 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du CaCO ₃ et du MAP sur le poids frais de la partie racinaire du sorgho	34
Tableau 11: Le poids frais (g) des deux parties du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) (partie aérienne et racinaire) sous l'effet de CaCO ₃ et avec l'utilisation du fertilisant MAP :	35
Tableau 12:.... Le poids sec (g) des deux parties du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) (partie aérienne et racinaire) sous l'effet de CaCO ₃ et sans l'utilisation du fertilisant MAP	36
Tableau 13 L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du MAP sur le poids sec de la partie aérienne du sorgho	36

Tableau 14 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du MAP sur le poids sec de la partie racinaire du sorgho.....	37
Tableau 15: Le poids sec (g) des deux parties du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) (partie aérienne et racinaire) sous l'effet de CaCO ₃ et avec l'utilisation du fertilisant MAP	38
Tableau 16 : La teneur en chlorophylle a et b (µg/g MF) du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) sous l'effet de calcaire et sans l'utilisation du MAP	39
Tableau 17 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du MAP sur la chlorophylle a du sorgho.....	39
Tableau 18 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du MAP sur la chlorophylle b du sorgho.....	40
Tableau 19: La teneur en chlorophylle a et b (µg/g MF) du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) sous l'effet de calcaire et l'utilisation du MAP	41
Tableau 20: La teneur en CaCO ₃ du sol sous l'effet du calcaire en solution et sans MA ...	42
Tableau 21 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du MAP sur le CaCO ₃ du sol.....	42
Tableau 22: La teneur en CaCO ₃ du sol sous l'effet du calcaire en solution et en présence du MAP	43

Liste des Figures

Figure. 01- Plant de sorgho avec ces différentes parties (<i>Trouche et Chantereau, 2009</i>).....	06
Figure. 02- Racine du Sorgho (<i>Zurich, 2012</i>).....	07
Figure. 03- Tige du sorgho (<i>Dehaynin, 2007</i>)	08
Figure. 04- Feuille du sorgho (<i>Dehaynin, 2007</i>).....	08
Figure. 05- Panicule du sorgho (<i>Dehaynin, 2007</i>).....	09
Figure. 06- Grain de sorgho (<i>Sautier et O'deye, 1989</i>).....	09
Figure 07 : Serre automatique du centre universitaire de NAAMA (<i>Hellou., 2022</i>).....	19
Figure 08. Les graines du Sorgho (<i>Sorghum bicolor (L) (Moench)</i>).....	20
Figure 09 : La germination du sorgho (<i>Hellou ,2022</i>).....	21
Figure 10 : Les pots du sorgho (<i>Hellou, 2022</i>)	22
Figure 11 : Le séchage de système aérien et racinaire (<i>Hellou ,2022</i>).....	22
Figure 12 : Mesure des longueurs par la règle (<i>Hellou ,2022</i>).....	23
Figure 13 : La pesé des deux parties (aérienne et racinaire) du sorgho.....	23
Figure 14: protocole de Chlorophylle (<i>Hellou, 2022</i>).....	24
Figure15 : Calcimètre de Bernard (<i>Hellou ,2022</i>).....	24
Figure 16 : Des plantes traitées et non traitées avec le MAP (<i>Hellou, 2022</i>).....	28
Figure 17 : Variation de la longueur (cm) de la partie aérienne et souterraine du sorgho non traité avec le MAP sous l'effet du calcaire.....	29
Figure 18 : Variation de la longueur (cm) de la partie aérienne et souterraine du sorgho traité avec le MAP sous l'effet du calcaire.....	31
Figure 19 : Comparaison des longueurs de partie aérienne sans et avec MAP sous l'effet du calcaire.....	32
Figure 20 : Comparaison des longueurs de partie racinaire sans et avec MAP sous l'effet du calcaire.....	32
Figure 21 : Variation de poids frais (g) de la partie aérienne et racinaire du sorgho non traité avec le MAP sous l'effet du calcaire.....	34

Figure 22 : Variation de poids sec (g) de la partie aérienne et racinaire du sorgho non traité avec le MAP sous l'effet du calcaire.....	35
Figure 23 : Variation de poids sec (g) de la partie aérienne et racinaire du sorgho traité avec le MAP sous l'effet du calcaire.....	35
Figure 24 : La concentration de chlorophylle a et b en présence du calcaire et en absence du MAP.....	40
Figure 25 : La concentration de chlorophylle a et b en présence du calcaire et en présence du MAP.....	41
Figure 26 : Les teneurs en CaCO ₃ accumulées dans le sol dépourvue de MAP.....	42
Figure 27 : Les teneurs en CaCO ₃ accumulées dans le sol riche en MAP.....	43

Liste des abréviations

MAP : phosphate mono ammoniacal.

CaCO₃ : carbonate de calcium.

PCa : phosphate lié au calcium.

C°: Degré celsius.

Chl : Chlorophylle.

cm: Centimètre.

FAO : Organisation Des Nations Unies
pour L'alimentation et Agriculture.

Fig: Figure.

g: Gramme.

Kg: Kilogramme.

MF : Matière fraîche.

ml: Millilitre.

mm: Millimètre.

MO : Matière organique.

MS : Matière sèche.

N:Azot.

PF : Poids frais.

PS : Poids sec.

%: Pourcent.

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Table des matières

Introduction.....01

Partie I : Étude bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur le sorgho

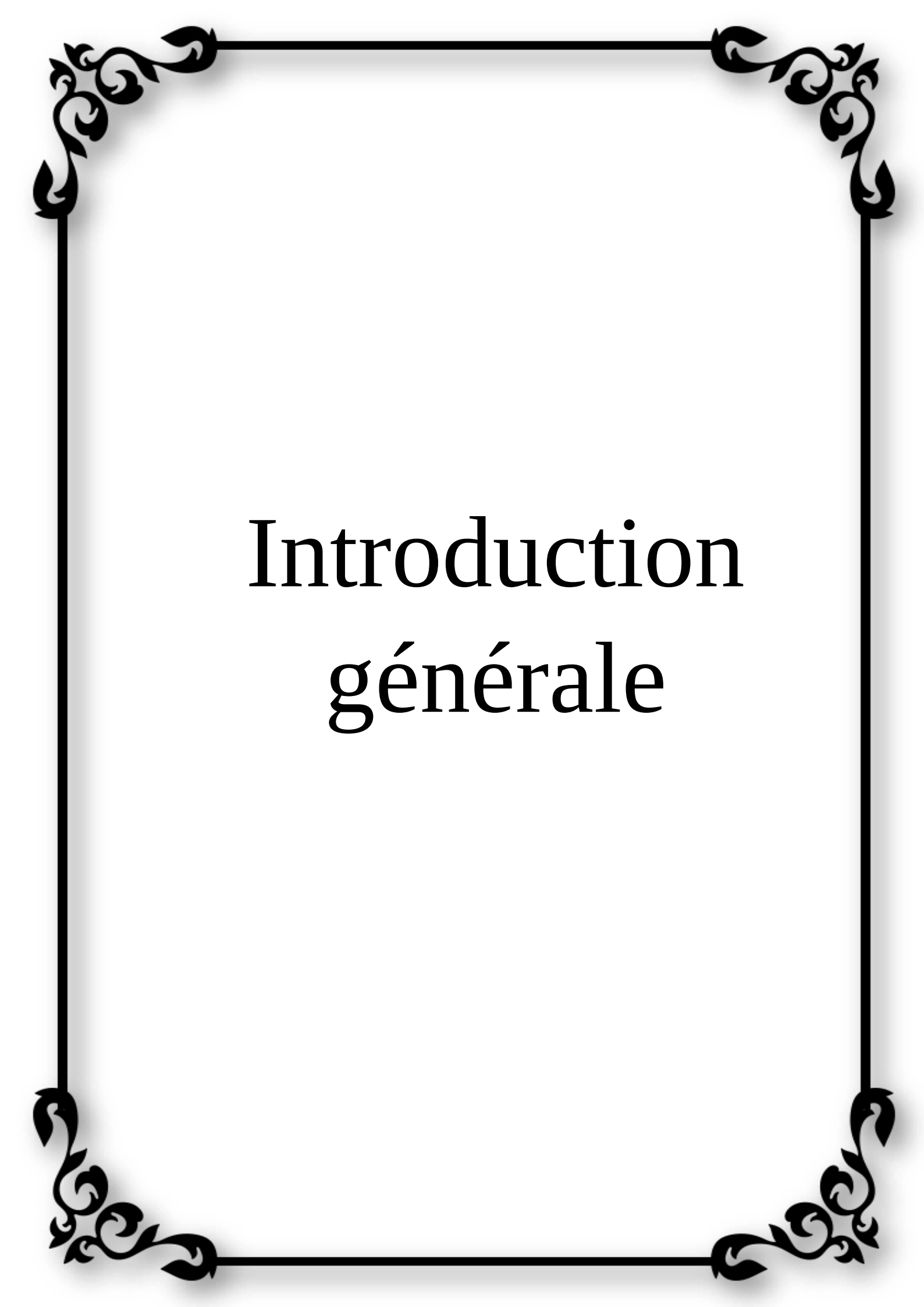
1. le sorgho	04
1- Définition et origine du Sorgho	04
2- Situation du sorgho dans le monde	05
3- Taxonomie	05
4- Morphologie du sorgho	06
4.1. Racine	08
4.2. Tige	09
4.3. Feuille	08
4.4. Inflorescence	09
4.5. Graine	09
5- Cycle de développement	10
➤ Phase végétative	10
➤ Phase reproductive	10
➤ Phase de maturation	11
6- Exigences écologiques de sorgho	11
6.1. Températures.....	11
6.2. Exigences en eau	11
6.3. Exigences en sol	11
6.4. Besoins en altitude.....	12
7- Culture du sorgho.....	12
7.1. Préparation du sol.....	12
7.2. Semis	12
7.3. Fertilisation	12
7.4. Désherbage.....	12

7.5. Récolte	12
8- L'utilisation du sorgho.....	13
- L'alimentation humaine	13
- L'alimentation animale	13
- L'industrie	13
9- les fertilisants	13
1. Définition	13
2. Types de fertilisation	14
2.1 Fertilisation organique	14
2.2 Fertilisation minérale	14
2.3 Biofertilisation	15
2.4 Les engrais	15
✚ Les types d'engrais	15
✓ les engrais simples.....	15
✓ les engrais composés.....	15
10- Le MAP	16
11- le carbonate de calcium	17
Avantages et inconvénients des sols calcaires (<i>Geslot, 2018</i>)	17
Avantages	17
Inconvénients.....	17

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

1. Objectif de l'essai.....	19
2. Conditions climatique et physico-chimique.....	19
3. Matériel Végétal	20
4. Méthodes	21
5. Les paramètres biométriques	23
5.1. La longueur	32
5.2. Le poids	23
2. Les paramètres biochimiques	24
2.1. Taux de chlorophylle	24
2.2. Le taux de calcaire	24
Etape 01 : Montage de Calcimètre	25
Etape 2 : Préparation de la mesure	25

Etape 3 : La mesure.....	25
Exemple.....	26
➤ Analyse statistique	26
CHAPITRE III-RESULTAT ET INTERPRETATION	
1. Résultats sous forme d'observation	28
2. Résultats sous forme d'histogramme	29
2.1. La croissance de la plante	29
2.1.1. La longueur	29
➤ En absence du MAP	29
➤ En présence du MAP	30
2.1. 2. Le poids frais :	32
➤ En absence du MAP.....	32
➤ En présence du MAP.....	32
2.1. 3. Le poids sec :	34
➤ En absence du MAP.....	34
➤ En présence du MAP.....	35
2.2. Caractéristique biochimique	36
2.2.1 .Chlorophylle a et b	36
➤ En absence du MAP	36
➤ En présence du MAP	37
Caractéristiques de sols	37
➤ En absence du MAP	37
➤ En présence du MAP	38
DISCUSSION	39
CINCLUSION ET PERSPECTIVES	42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	44



Introduction générale

Introduction :

Le sorgho est une plante pérenne qui peut être récoltée plusieurs fois par an. Cette plante tropicale et méditerranéenne supporte la chaleur et la sécheresse mais aussi les sols salins, calcaires ou même gorgés d'eau. Cette plante robuste pousse bien dans les régions à climat chaud (Afrique) ou tempéré (**Claude., 2017**). 90% des superficies cultivées en sorgho et 70% de la production mondiale se trouvent dans les pays en développement. Les pays d'Afrique et d'Asie représentent à eux seuls plus de 95% de l'utilisation alimentaire totale de sorgho (**FAO, 2010**).

Le sorgho est parmi les cultures fourragères prometteuses pour l'Algérie, il représente un soutien supplémentaire qui permet de renforcer la production des fourrages et peut être d'une grande utilité en élevage et par conséquent de la production laitière (**Robin, 2014**). Il est utilisé en alimentation humaine comme (farines, semoules, boissons,...), en alimentation animale (sorgho grain, sorgho fourrager, ensilage), en agro énergie (sorgho sucrier, sorgho biomasse) et même en agro matériaux (sorgho fibre) (**Chantereau et al., 2013**) mais la question qui se pose est ce qu'on a besoin des fertilisants pour avoir une bonne croissance du sorgho et si oui quels sont leurs effets sur la croissance?

La fertilisation consiste à restituer au sol ce qu'il a perdu suite aux exportations minérales par les différentes plantes. Les techniques de fertilisation ne se limitent pas aux apports de fumures, elles visent également à améliorer la structure du sol par un bon drainage, une bonne irrigation, des travaux de sol bien conduits appropriés et effectués dans de bonnes conditions d'humidité du sol (**Baldi et al., 2015**). Le MAP ou monoammoniaque est un fertilisant à base de phosphore et d'ammoniac ; il est en principe utilisé en début de saison car il procure un niveau élevé de phosphore nécessaire à la croissance racinaire des jeunes plantes (**Mihoub, 2019**).

Le calcaire dans le sol influe sur son pH qui influe à son tour sur l'assimilation du phosphore. Dans les sols calcaires, riches en Ca^{2+} , la forme dominante du phosphore est celle du PCa (phosphate lié au calcium) caractérisée par une faible labilité (**Mihoub, 2019**). La connaissance du calcaire total d'un sol agricole est un moyen de caractérisation du sol de point de vue fertilité physique, chimique et même biologique ; de donner une vision sur l'activité biologique du sol mais aussi d'évaluer le pouvoir fixateur du sol vis-à-vis des

Introduction général

ions phosphoriques et connaître par conséquent les interactions des autres éléments nutritifs avec le phosphore (*Mihoub ,2019*).

L'objectif de cette étude est d'étudier l'effet du MAP sur la croissance du sorgho en présence du calcaire.

A travers cette étude, nous aborderons dans le premier chapitre une recherche bibliographique sur le sorgho, le sol utilisé pour la culture de notre espèce, et bien sûr une recherche sur les fertilisants de manière générale et le MAP en particulier.

Dans le deuxième chapitre nous décrirons la méthode de travail adoptée au cours de cette expérimentation et le matériel utilisé.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons les résultats obtenus à partir de cette étude avec la discussion et nous terminons ce travail par une conclusion.

Chapitre i :
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I -SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I- LE SORGHO

1. Définition et origine du Sorgho :

Le sorgho est une céréale sans gluten, plante herbacée annuelle qui est cultivée pour ses graines et son fourrage. Il appartient à la famille des graminées, c'est une grande poacée, à inflorescence en panicule plus ou moins lâche, et considéré comme la cinquième céréale la plus importante dans l'économie agricole mondiale (*Claire, 2021*). Sa capacité d'adaptation à la sécheresse et à la salinité en fait l'un des cultures les plus importantes dans les régions sèches (*Morris et al, 2013*).

Sur le coté commerciale, les sorghos cultivés représentent différents types agronomiques, tel que le sorgho grain, le sorgho fourrager, sorgho doux et genêts (*Berenji et Dahlberg, 2004 ; Singh et Lohithaswa, 2006 ; Berenji et al, 2011*).

Le sorgho est utilisé à diverses fins (*Dahlberg et al, 2011 ; Kimber et al, 2013*). C'est un aliment de base pour des millions de personnes dans les tropiques semi-arides. D'un point de vue diététique, il peut remplacer d'autres céréales car il ne contient pas de gluten mais a par ailleurs la même valeur nutritionnelle en grains de maïs (tableau 1) (*Sheorain et al, 2000 ; Singh et Lohithaswa, 2006 ; Dahlberg et al, 2011 ; Dial, 2012 ; Jacob et al, 2013; Morris et al, 2013*). **Tableau 1.** Comparaison des teneurs en grains du sorgho et du maïs (*Sheorain et al, 2000 ; Jacob et al, 2013*).

Tableau 01 : Comparaison des teneurs en grains du sorgho et du Naâma

Composants	Teneur %	
	Sorgho	Maïs
Amidon	63-68	60 - 64
Humidité	9 – 13	8 - 11
Protéines	9 – 11	9 – 11
Graisses et huile	1 – 1.5	3 – 5
Fibre brute	1.5 – 2	1.5 – 2
Autres matières organiques	8 – 12	7 – 9

En outre, le sorgho peut être utilisé comme fourrage et aliment pour animaux, et dans la production des matériaux de construction, ou pour la production de balais (*Dogget, 1988; Dahlberg et al, 2011 ; Hariprasanna et Patil, 2015*). Il présente également un intérêt pour la production de biocarburants végétaux. Il représente la 2eme plus importante source

d'éthanol à base de céréales aux États-Unis après le maïs en raison de sa forte rendement en biomasse et teneur en sucre (*Dahlberg et al, 2011 ; Jacob et al, 2013*).

Il fait partie des espèces les plus anciennement cultivées dans le monde, et il aurait été domestiqué il y a environ 6000 ans dans le Nord-Est de l'Afrique, entre le Soudan et l'Éthiopie, exactement en bordure sud du Sahara (*Wendorf et al, 1992*). Actuellement, la culture du Sorgho est répandue dans les régions sèches d'Afrique, d'Asie, des Amériques, d'Europe et d'Australie.

2. Situation du sorgho dans le monde :

Les plus importantes zones de culture du sorgho se situent dans les régions chaudes, comme l'Afrique, l'Inde, l'Amérique du Nord et du Sud comme indique le tableau 01.

Selon *FAO (2014)* et dans les 20 dernières années, les États-Unis (1^{er} producteur mondiale) et le Mexique (2^{ème} producteur mondiale) ont enregistré une diminution dans leur production de façon importante et une menace dans leur rang habituel par des pays comme l'Inde ou le Nigeria.

Tableau 02: Production annuelle (millions de tonnes) du sorgho des principaux pays producteurs (*statistiques agricoles FAO 2014*).

Pays	2011	2012	2013	2014
USA	5,45	6,27	9,88	10,99
Mexique	6.43	6.97	6.31	8.39
Inde	7.00	5.98	5.28	5.39
Nigeria	5.69	5.84	5.30	6.74
Argentine	4.46	4.25	3.64	3.47
Ethiopie	3.95	3.60	3.83	4.34
Soudan	-	2.25	4.52	6.28
Burkina Faso	1.51	1.92	1.88	1.71
Chine	2.05	2.56	2.89	2.89
Australie	1.93	2.24	2.23	1.28
Brésil	1.93	2.02	2.13	2.28

3. Taxonomie :

Harlan et Dewet (1972) ont proposé une classification simplifiée des sorghos cultivés.

Selon *Dogget (1988)*, le sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench), est une herbacée annuelle appartient au :

Règne:Plantae.
 Sous-règne:..... Tracheobionta.
 Division:Magnoliophyta.
 Classe:..... Liliopsida.
 Sous-classe: Commelinidae.
 L'ordre:Cyperales.
 Famille:Poaceae .
 Sous-famille: Panicoideae.
 Genre:Sorghum.
 Espèce:..... *S.bicolor*.

4. Morphologie du sorgho :

Le sorgho est une plante autotrophe, dispose d'organes permettant d'absorber l'eau et les sels minéraux, et d'assurer les fonctions photosynthétiques pour une croissance et un développement satisfaisant (*Sene, 1995*).

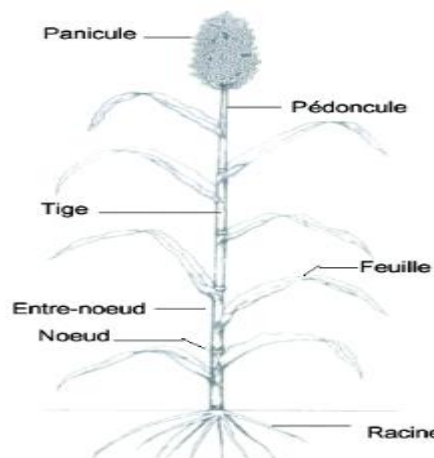


Figure 1 : Plant de sorgho avec ces différentes parties (*Trouche et Chantereau, 2009*).

4.1. Racine :

D'après **House (1987)**, le sorgho contient un système racinaire développé avec plusieurs poils radiculaires. Au moment de la germination, il apparaît la racine primaire ou embryonnaire. Plusieurs racines de ce type se développent, elles sont peu ou pas du tout ramifiées. Les racines secondaires se forment à partir du premier nœud ; ce sont ces racines qui en se développant constituent le système racinaire abondant de la plante. Par la suite, les racines primaires meurent et des racines adventives peuvent apparaître plus tard sur les nœuds inférieurs et peuvent être nombreuses si la plante n'est pas en bonnes conditions.



Figure 02 : Racine du Sorgho (Zurich, 2012).

Les sorghos cultivés sont annuels ou (faiblement) pérennes et le système racinaire de ces derniers persiste bien pour permettre le développement des rejetons à partir des bourgeons adventifs situés à la base de la tige-mère comme indique la figure 02.

4.2 .Tige :

La plante comporte une tige principale, qui peut présenter des talles basales, qui sont des tiges secondaires partant de base de la tige principale, Chaque tige est constituée d'un empilement d'unités morphologiques identiques appelées phytomère : ce dernier constitué d'une feuille, d'un nœud portant un bourgeon axillaire et aussi d'un entrenœud développé en dessous du nœud.

Au niveau de chaque méristème apical, une inflorescence finale est initiée, mettant fin à l'émission de phytomères végétatifs : c'est une croissance de type déterminé. Les tiges se terminent donc par un organe fructifère qui, dans le cas du sorgho, est une panicule. Les panicules portent les graines. Au niveau des entre-nœuds les plus basaux, partent les racines (**Chantereau et al, 2013**).



Figure 03 : Tige du sorgho (Dehaynin, 2007).

La tige est robuste et constituée de séries de nœuds alternant avec des entre-nœuds, mesurant de 0,5 cm à 5 cm de diamètre près de la base, s'amincissant vers l'extrémité terminale et ayant une longueur de jusqu'à 4 m. Elle est solide avec un cortex dure et une moelle plus molle. Le nœud se présente comme un anneau à la base de la gaine foliaire : c'est le point où la feuille s'attache à la tige, un bourgeon se forme à chaque nœud, sauf au nœud correspondant à la feuille paniculaire ; de ces bourgeons, aux nœuds successifs, se trouvent en alternance d'un côté ou l'autre de la tige, ces bourgeons se développent par fois en talles axillaires. Les talles de la base quand elles existent, se forment au premier nœud (House, 1987).

4.3. Feuille :

Selon Chantereau (1994), Les feuilles sont distribuées d'une manière variable le long de la tige, et elles sont concentrées près de la base dans certains types. La longueur des feuilles peut atteindre plus d'un 1 m, pour 10 à 15 cm de largeur, leurs nombres varient suivant les plantes. Chez les plants bien adaptés, il y a ordinairement 14 à 17 feuilles, ce nombre pouvant atteindre 30 chez les plants moins adaptés. Les feuilles naissent le long de la tige en alternance sur deux lignes et se composent d'une gaine et d'un limbe. Il existe une courte ligule membraneuse (1 à 3 mm) à la jonction du limbe avec la gaine.



Figure 04 : Feuille du sorgho (Dehaynin, 2007).

4.4. Inflorescence :

Selon *House (1987)*, l'inflorescence est une panicule qui peut être soit courte et compacte ou bien lâche et ouverte.



Figure 05 : Panicule du sorgho (*Dehaynin, 2007*).

L'axe central de la panicule peut se trouver complètement masqué par la densité des branches secondaires et tertiaires de la panicule ou être complètement exposé. Certain nombre de branches secondaires prend naissance à chaque nœud. Chacune peut varier en longueur, étant trapue ou grêle, souple ou rigide, velue ou quasi glabre, ramifiée près de sa base ou non jusqu'au voisinage du sommet.

4.5. Graine :

La graine du sorgho est un caryopse composée de trois parties principales: l'enveloppe, l'albumen et le germe, le péricarpe constitue l'enveloppe externe de la graine (*Jacques et al, 2013*) (Figure 06). Entre le péricarpe et l'albumen, peut se trouver une couche hautement pigmentée de couleur brune ou rouge appelée testa, sa présence confère une résistance aux moisissures (*Asiedu, 1989*).

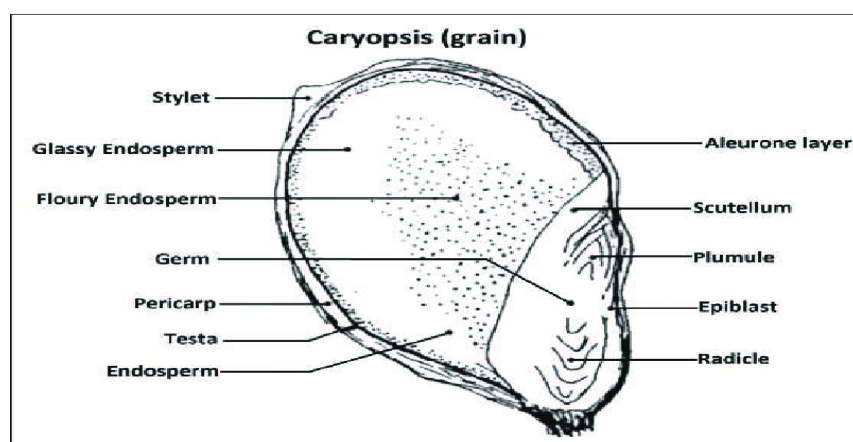


Figure 06 : Grain de sorgho (*Sautier et O'deye, 1989*)

D'après **House (1987)**, les caractéristiques morphologiques du grain à maturité complète sont les suivantes:

- longueur = 3,5 à 5 mm.
- largeur = 2,5 à 4,5 mm.
- poids de 1000 grains = 60 à 85 grammes.

5. Cycle de développement :

La croissance et le développement du sorgho passent par trois phases successives :

➤ La phase végétative :

La phase végétative du sorgho dure 30 à 40 jours généralement, commence par la germination de la graine et l'émergence d'une jeune plantule à l'initiation de la panicule. La germination correspond au passage de l'état de vie ralentie à l'état actif, elle se produit rapidement et la coléoptile apparaît au bout de 3 à 4 jours après semis lorsque la température du sol est de 20°C ou plus d'après **Chantereau et Nicou (1991)**.

La durée d'apparition de la coléoptile peut être plus longue lorsque les températures sont basses (inférieures à 20°C). Une première feuille perce l'extrémité de la coléoptile et l'émission des feuilles suivantes se fait très rapidement, en parallèle la croissance racinaire est active, caractérisée par le développement d'une racine séminale unique puis par celui des racines adventives 3 à 7 jours après l'émergence du plante. Le tallage commence après environ 15 jours de semis, mais il est limité dans le temps par un mécanisme physiologique interne. L'initiation florale se produit en général lorsque la plante est haute de 50 à 60 cm. Selon **Chantereau et Nicou (1991)**, la température optimale pour la croissance végétative est environ 33° à 34°C.

➤ La phase reproductive :

D'après **Chantereau et Nicou (1991)**, cette phase démarre avec l'initiation florale et finit par la pollinisation. L'initiation paniculaire se produit, en moyenne, 30 jours avant la floraison, son déclenchement dépend des conditions de températures et de photopériode. L'apparition de l'inflorescence est précédée par un gonflement de la gaine de la dernière feuille. La floraison débute par le sommet de la panicule en descendant très régulièrement. Elle dure à peu près une semaine. La floraison est active juste avant le lever du soleil. La

sensibilité des sorghos à la sécheresse est maximum durant cette phase, qui marque un changement profond dans la physiologie de la plante.

➤ **La phase de maturation :**

Après la phase de pollinisation et de fécondation, le zygote est formé par la fusion d'un gamète mâle et d'un gamète femelle. L'œuf va croître et développer un embryon qui cesse sa croissance lorsque la déshydratation atteint un certain seuil. Le développement de la graine, son remplissage commence juste après la pollinisation.

La durée de remplissage complet varie de 30 à 50 jours environ selon le cycle des variétés, les facteurs climatiques et le poids du grain. Ce sont essentiellement les feuilles supérieures de la plante qui par leur activité photosynthétique, assurent l'accumulation de réserves. La graine de sorgho passe par les stades laiteux puis pâteux avant d'arriver à maturité physiologique caractérisée par l'apparition d'un point noir consécutif à la fermeture des faisceaux à sa base, la région du hile. Le poids du grain est alors maximum avec un taux d'humidité se situant environ 30% d'après *Chantereau et Nicou (1991)*.

6. Exigences écologiques de sorgho :

6.1. Températures :

D'après *Louise (2007)*, si la plante dispose d'eau dans le sol, le développement floral et la formation des graines de sorgho se déroulent habituellement à des températures de 30 à 43°C avec une humidité relative de 15 à 30%.

6.2. Exigences en eau :

Le sorgho exige moins d'eau pour sa croissance par rapport aux autres céréales. Selon *(Louise, 2007)*, le sorgho a besoin de 332 kg d'eau pour produire 1 kg de matière sèche (MS).

6.3. Exigences en sol :

Le sorgho s'adapte à de nombreux milieux, mais sa culture réussit le mieux sur les sols limoneux et limono-sableux. Le pH du sol supporté est entre 5 à 8,5, et il tolère la salinité par rapport aux maïs *(House, 1987)*.

6.4. Besoins en altitude :

Selon (*Chantereau, 1994*), Le sorgho peut être cultivé du niveau de la mer jusqu'à 1100 à 1300 m.

7. Culture du sorgho :**7.1. Préparation du sol :**

Le sorgho préfère un sol limono-sableux, fertile et bien drainé. En culture mécanisée, le labour s'effectue à environ 30-40 cm de profondeur après une bonne précipitation, puis pulvériser jusqu'à 25 cm de profondeur. En culture manuelle, il est nécessaire de faire un labour à la houe (*Louise, 2007*).

7.2. Semis :

D'après *Smith et Frederiksen (2000)*, le semis du sorgho doit être réalisé entre le mois d'Avril et Mai, prévoir environ 10 à 15 kg de semences par hectare, semis en ligne ou semis en monograin à une profondeur de 3-5 cm. Distance entre les lignes de 37,5 à 75 cm. Densité de semis de 25 à 40 grains par m² dépendant de la variété et du sol.

7.3. Fertilisation :

Chaque fertilisation minérale du sorgho doit être à base d'engrais binaire (azote + phosphore). Cependant, un complément en potassium (K) est souvent à apporter selon la richesse du sol en cet élément et de la quantité de la paille restituée (*Chantereau et al, 2013*).

7.4. Désherbage :

Éliminer les mauvaises herbes, surtout pendant la phase végétative (*Louise, 2007*):

- Chimiquement : traiter avec un herbicide de près-levée, juste après les semis et avant la levée des plants du sorgho.
- Manuellement : 2 à 3 sarclages sont nécessaires (au démariage, 2 à 3 semaines après le démariage et à la montaison).

7.5. Récolte :

Selon *Louise (2007)*, la récolte de sorgho se fait à la maturité physiologique, environ 45 jours après la floraison.

8. Utilisations du sorgho :

D'après (*FAO, 1991*), le sorgho a trois usages distincts :

- **L'alimentation humaine:** l'Homme consomme plus de 70% du sorgho, en Amérique du Nord, Amérique centrale, Amérique du Sud et Océanie.
- **L'alimentation animale:** en Amérique du Nord, Amérique centrale, Amérique du Sud et Océanie.
- **L'industrie :** La culture a également une vocation industrielle orientée sur la production de la pâte à papier, la production du fuel, le textile, ... etc.

II- LES FERTILISANTS

1. Définition :

La fertilisation est l'aptitude d'assurer la croissance des cultures et avoir de bonne qualité et quantité des récoltes. Elle comprend les techniques concernant l'apport des éléments minéraux destinés à augmenter la fertilité d'un sol. Le principal objectif de toute fertilisation est d'apporter les éléments indispensables pour que le sol puisse fournir aux plantes une alimentation équilibrée et suffisante.

Un fertilisant est une **substance qui nourrit le sol et les plantes**. Il peut être **d'origine végétal** comme le **compost**, ou **animale** comme le fumier de cheval ou la bouse de vache. Il assure une pousse plus rapide et une qualité supérieure à la plante grâce à ses teneurs importantes en **azote, phosphore, potassium,...** (*Anaïs., 2018*).

L'utilisation des fertilisants chimiques et organiques a ses propres avantages et inconvénients dans le contexte de l'approvisionnement en éléments nutritifs, de la productivité des cultures et de l'effet sur l'environnement (*Kaur, 2016*). Bien que, les prérogatives de la fertilisation doivent être intégrées pour utiliser au mieux chaque type d'engrais et parvenir à une gestion bien équilibrée des nutriments pour la croissance des cultures (*Jen-Hshuan, 2006*).

La fertilisation consiste alors à restituer au sol ce qu'il a perdu suite aux exportations minérales par les différentes plantes. Les techniques de fertilisation ne se limitent pas aux apports de fumures, elles visent également à améliorer la structure du sol par un bon drainage, une bonne irrigation, des travaux de sol bien conduits appropriés et effectués dans de bonnes conditions d'humidité du sol (*Baldi et al, 2015*).

2. Types de fertilisation :

On distingue plusieurs types de fertilisation qui sont utilisés aussi bien pour le jardinage que pour l'agriculture :

2.1 Fertilisation organique :

La matière organique joue un rôle très important dans le fonctionnement global du sol à travers ses composantes biologiques et physicochimiques qui ont des conséquences majeures sur la fertilité des sols (*Gérald et al, 2011*). D'après *Abga (2013)*, la matière organique (MO) constitue un facteur fondamental à l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol, afin d'assurer une bonne nutrition et une bonne croissance végétative. Elle est constituée essentiellement par la décomposition de la matière fraîche des microorganismes et des végétaux (*Thi-Phuong, 2014*). La MO du sol contient des composantes principales qui sont la fraction légère du sol, l'azote total du sol, et le carbone organique du sol (*Gregorich et al, 2008*).

Selon *Francou (2004)*, la fertilisation organique indique un ensemble de fertilisants d'origines naturelles ou biologiques, notamment issus des végétaux et du compostage des déchets, mais parfois des déjections animales aussi, qui sont mélangées avec le sol, pour améliorer ses propriétés biologiques et physicochimiques.

2.2 Fertilisation minérale :

Pour que les plantes accomplir leur cycle de croissance, ils ont besoin essentiellement en quantités importantes d'azote, de phosphore et de potassium (*Mouria et al, 2010*). Certains engrais minéral produit par l'exploitation de gisements naturels de potasse et de phosphate. Les besoins en engrais minéraux sont différents selon le stade de développement de la plante : la fertilisation donc doit être apportée au bon moment et en quantité suffisante (*Deblay et Charonnat, 2006*). Ces produits minéraux sont importants pour une production végétale réussie, corrigeant les insuffisances de la fertilité du sol, et fournissant des éléments nutritifs essentiels aux plantes (*Benton et Jones, 2012*).

Concernant le sorgho et leur fertilisation minérale, des expériences ont montré que le pivot de la fumure est l'azote (*Chantereau et Nicou, 1991*). Selon Chantereau et Nicou (1991), des expériences ont montré que pour la fertilisation minérale du sorgho, le pivot de la fumure est l'azote. Cependant, l'azote n'est entièrement valorisé que si les quantités de

phosphore disponibles pour la plante sont suffisantes et cela dépend premièrement de la richesse du sol en cet élément. C'est ainsi qu'on considère que toute fertilisation minérale du sorgho doit être à base d'engrais binaire NP.

2.3 Biofertilisation :

C'est l'utilisation des engrais vert c'est-à-dire les engrais biologique. C'est une culture de végétation rapide enfouie sur place et destinée principalement pour améliorer le sol. Ce type d'engrais a un effet très important sur la protection du sol, l'en considère comme une source de matières organiques jeunes; source importante d'éléments nutritifs pour les plantes surtout en azote (*Soltener, 2003*).

2.4 Les engrais :

Selon (*Moughli, 2000*), l'engrais est un produit organique ou inorganique, qui est utilisé pour fournir les quantités suffisantes d'un ou de plusieurs éléments essentielles pour les plantes. Ce produit qui peut être naturelle ou manufacturée, sèche ou liquide, contenant plusieurs éléments végétaux important qui, lorsqu'ils sont ajoutés à un sol, facilitent la croissance des plantes et augmentent la productivité en fournissant des éléments primordiaux supplémentaires à l'usage des plantes (*Benton et Jones, 2012*).

Les types d'engrais :

Selon leur composition en phosphore, azote, et potassium, on distingue:

✓ les engrais simples:

Ce sont des éléments chimiques qui n'apportent qu'un seul des trois principaux éléments:

- 1) le chlorure de potasse fournit du potassium.
- 2) le sulfate d'ammoniaque ou l'urée fournissent de l'azote.
- 3) les superphosphates fournissent du phosphore.

✓ les engrais composés:

Ils apportent au même temps deux ou trois des éléments principaux. Ils sont binaires s'ils ne contiennent que deux composés, ternaires lorsqu'il y en a trois, sont principalement des engrais ternaires NPK et des engrais binaires NP, NK et PK (*Antoine, 2017*). Ces derniers sont utilisés avant le semis incorporés lors des dernières préparations de sols.

Les avantages les plus remarquables de ces types d'engrais sont:

- stockage faciles.
- teneur élevée en éléments nutritifs.

- facilité d'application.
- fertilisation équilibrée.
- répartition uniforme des éléments nutritifs dans le champ.

3. Le MAP : (Mono-Ammonique Phosphate) est un fertilisant à base de phosphore et d'ammoniac ; universel utilisable sur tous types de sols et de cultures ; il est en principe utilisé en début de saison (effet starter). car il procure un niveau élevé de phosphore nécessaire à la croissance racinaire des jeunes plantes. il possède l'ion phosphate qui est présenté sous forme d'ion monovalent : H_2PO_4 la seule forme de phosphore assimilée par les végétaux. Dans ce cas, le phosphore est totalement assimilable grâce à sa disponibilité immédiate (**Poisot, 2017**).

Le phosphate monoammoniaque contient selon (**Mihoub, 2019**):

- 12% d'azote sous forme ammonium
- 61% d'acide phosphorique assimilable (P_2O_5)
- 27% de phosphore soluble (P)

D'après **Cailleau (2022)**, l'Azote favorise la bonne implantation de la culture et stimule sa croissance végétative et favorise le développement des racines. D'autres chercheurs rapportent que le phosphore est le cœur du métabolisme énergétique de la plante (**Bourgeois et al, 2006**).

III- LE CARBONATE DE CALCIUM :

C'est une substance carbonatée très fréquente dont l'application des engrais phosphatés dans les sols calcaires peut provoquer un certains nombres de problèmes à savoir la fixation et l'accumulation des ions phosphates dans le sol. Pour connaître la dynamique de cet élément dans ces sols, il doit y avoir des connaissances sur les formes chimiques du phosphore et leurs interactions dans les sols calcaires. Le carbonate de calcium est un produit naturel inerte ne présentant aucun risque pour l'homme et l'environnement et l'un des minéraux les plus abondants à la surface du globe (*Karine, 2007*).

Selon le même auteur (*Karine, 2007*), le CaCO_3 est issu soit des anciens dépôts d'origine biologique (ils sont constitués d'éléments de squelette externe de végétaux unicellulaires), soit de marbres ou de cipolins. Ce sont des calcaires d'origine métamorphique, vient de la transformation de roches sédimentaires sous l'effet de la température et de la pression. Après extraction, les calcaires sont broyés, en voie sèche ou en voie humide, suivant la granulométrie recherchée. Ils peuvent éventuellement être traités en surface, par des acides gras.

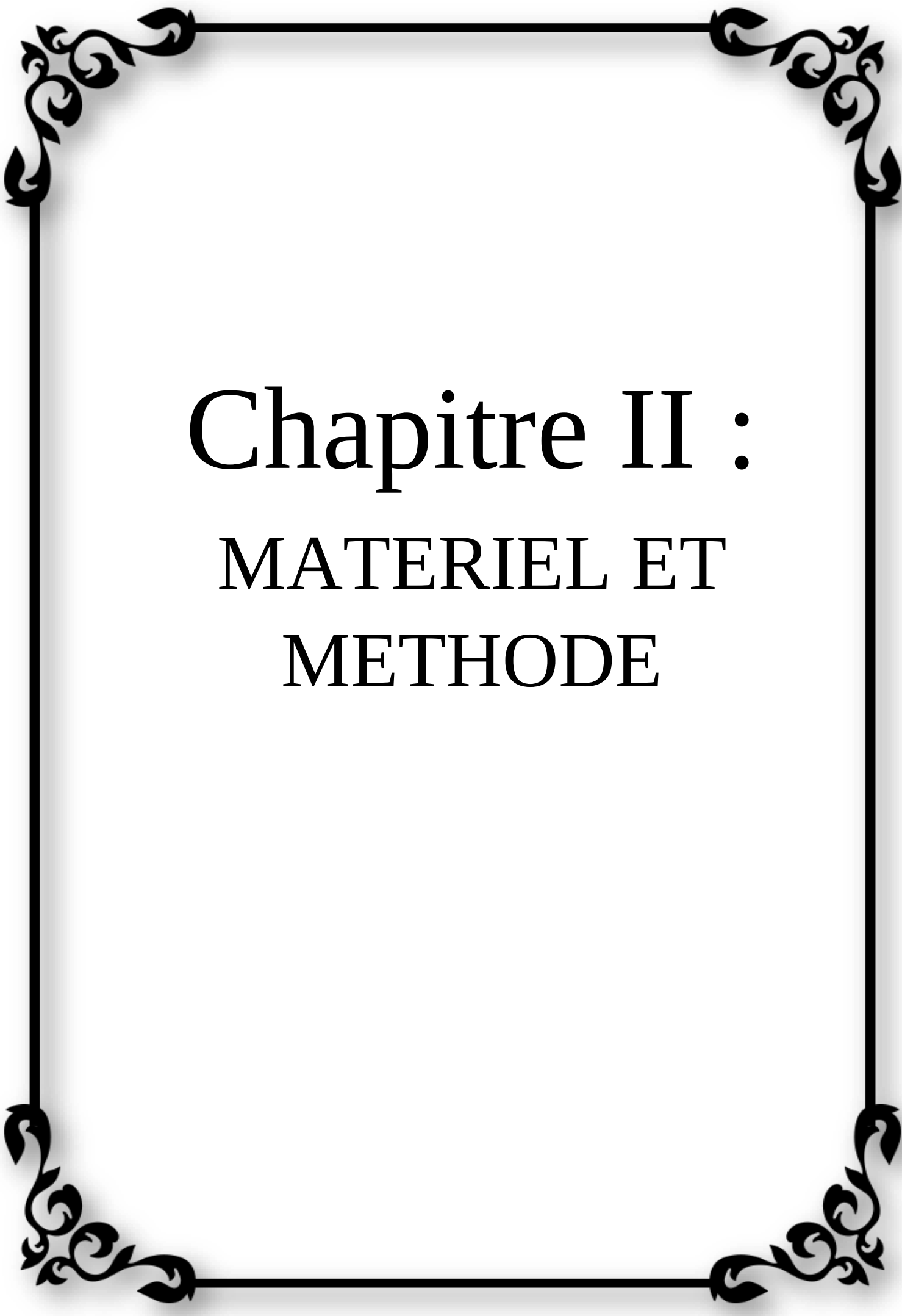
Avantages et inconvénients des sols calcaires (*Geslot, 2018*) :

➤ Avantages :

- ✚ Un sol très riche à cause de l'activité microbienne qui est intense.
- ✚ Le calcaire sert de nutriment aux végétaux.
- ✚ Le calcaire favorise la décomposition des matières organiques.
- ✚ Le calcaire permet l'assimilation de certains engrais.

➤ Inconvénients :

- ✚ Les sols calcaires sont des sols collants et compacts, difficiles à travailler lorsqu'ils sont humides.
- ✚ Les sols calcaire se dessèchent et se craquellent rapidement en été.
- ✚ Les terres calcaires retiennent mal les minéraux, ce qui en fait généralement des sols assez pauvres.



Chapitre II :

MATERIEL ET METHODE

Chapitre II - Matériel et méthodes

1. Objectif de l'essai :

La réalisation de cette mémoire s'appuie sur l'effet du fertilisant MAP sur le sorgho (*Sorghumbicolor (L) (Moench)*) en présence du CaCO_3 .

2. Conditions climatique et physico-chimique :

Le sorgho est cultivé dans une serre automatisée équipée d'un grand ventilateur pour l'aération et un dispositif d'humidité. La serre est semi translucide pour permettre l'infiltration de la lumière.

Ce travail a été réalisé au sein d'une serre automatique, au centre universitaire de Naâma. Il a englobé une série d'opérations expérimentales suivies d'une prise de remarques.



Figure 07 : Serre automatique du centre universitaire de NAAMA (*Hellou., 2022*)

Les caractéristiques de la serre sont mentionnées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 03 : Les caractéristiques de la serre automatisée du centre universitaire de Naâma

Facteurs abiotiques	
Photopériode (h)	8
Température	(20 à 27)°C
Humidité	(20 à 80)
Vent	0 m/s
Intensité lumineuse	400 w/m ²
Ensoleillement	95000 Lux

3. Matériel

3.1. Le matériel végétal

L'essai est effectué sur un échantillon de sorgho. Les graines utilisées sont commerciales, elles proviennent originellement de Soudan et qui sont non modifiées génétiquement.



Figure 08. Les graines du Sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench))

3.2. Le sol

Il s'agit d'un sol franc ou une « terre franche » qui se provient de la région. En fait, c'est un terme « vaste », il ne s'agit pas d'un terme scientifique mais plutôt d'un terme employé en jardinage qui signifie en quelque sorte un sol.

Il se réfère le plus souvent à un sol de texture légère. Il s'agit d'un sol équilibré à éléments plus ou moins grossiers du sable, limon et argiles.

Le sol est tamisé puis mis dans les pots à raison de 32 pots dont 16 sont mélangés avec 0.4 g de MAP et l'autre moitié sont restés sans traitement.

3.3. Les solutions du CaCO_3 :

Les plantes sont soumises à différentes concentrations calcaires en présence et en absence de MAP :

- 0 % de CaCO_3 (Témoin)
- 1 % de CaCO_3
- 3 % de CaCO_3
- 5 % de CaCO_3

4. Méthode :

D'abord, les graines sont désinfectées et imbibées dans l'eau distillée pendant 2h, ensuite mises dans des gobelets remplis de tourbe (terreau). Après la germination des graines, les plantules âgées d'un mois ont été déplacées à raison de 4 répétitions dans les pots remplis du sol franc avec les conditions suivantes :

- 16 pots sont remplis par 5 kg du sol mélangé avec 1.6 g du fertilisant phosphaté MAP.
- 16 pots sont remplis par 5 kg du sol sans MAP.
- 5 pots sont remplis par 5 kg de terreau mélangé avec le sable



Figure 09 : La germination du sorgho (*Hellou ,2022*)

L'arrosage est effectué selon la capacité de rétention. Les pots sont arrosés chaque 48h avec une quantité de 250 ml, une fois avec de l'eau de robinet, et une autre fois avec différentes concentrations de CaCO_3 pendant 2 semaines. Ensuite, l'arrosage se faisait avec

une quantité de 100 ml chaque 72 h pour le reste de la période et cela grâce aux changements de température de la serre.



Figure 10 : Les pots du sorgho (*Hellou, 2022*)

Les plantes âgées de 3 mois sont déterrées afin d'assurer les paramètres biométriques et biochimiques.

- Le poids frais de système aérien et racinaire séparément
- Le poids sec de système aérien et racinaire séparément
- La longueur de système aérien et système racinaire
- La teneur en chlorophylle
- Le taux de calcaire



Figure 11 : Le séchage de système aérien et racinaire (*Hellou ,2022*)

5. Les paramètres biométriques :

5.1. La longueur :

La mesure des longueurs de parties aériennes et racinaires sont effectuées en utilisant simplement une règle.



Figure 12 : Mesure des longueurs par la règle (*Hellou ,2022*)

5.2. Le poids :

Le pesage s'effectue à l'aide d'une balance électronique. Il se fait en deux parties :

- Pesage humide après l'arrachement et avant le séchage de la plante. Ce type nous permet d'obtenir le poids frais.
- Pesage sec après avoir séché la plante dans l'étuve. Ce type nous permet d'obtenir le poids sec.



Figure 13 : La pesée des deux parties (aérienne et racinaire) du sorgho

2. Les paramètres biochimiques :

2.1. Taux de chlorophylle

Les teneurs en chlorophylle a et chlorophylle b sont déterminées selon la méthode de **Lichtenthaler (1987)**. Dans un tube à essai, on ajoute 4 ml d'acétone 95% à 40 mg d'échantillon frais coupé en petits fragments, l'ensemble est conservé à l'obscurité à 4°C pendant 48 heures.

La densité optique est lue à l'aide d'un spectrophotomètre à 663 nm et 647 nm. L'appareil est étalonné avec la solution témoin à base d'acétone à 95%, les concentrations de chlorophylle (a) et chlorophylle (b) sont calculées par les formules suivantes :

$$\text{Chl a } (\mu\text{g.ml}^{-1}) = 12, 25. \text{ DO (663) } - 2, 79. \text{ DO (647)}$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g.ml}^{-1}) = 21,5. \text{ DO (647) } - 5, 10. \text{ DO (663)}$$



Figure 14: protocole de Chlorophylle (*Hellou, 2022*)

2.2. Le taux de calcaire

L'essai consiste à faire ajouter un pourcentage de CaCO_3 à un échantillon de sol mis dans le calcimètre puis agiter jusqu'à l'homogénéisation. Le principe de l'opération consiste à mesurer le volume de CO_2 dégagé par action de l'acide chlorhydrique (HCl) sur le carbonate de calcium (CaCO_3).

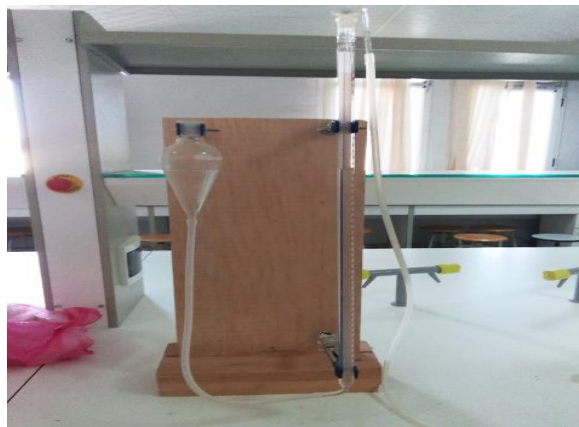


Figure15 : Calcimètre de Bernard (*Hellou ,2022*)

Etape 01 : Montage de Calcimètre :

La première étape consiste à la mise en place d'un calcimètre qui permet de mesurer le volume de CO₂ dégagé par l'action de l'acide chlorhydrique (HCl) sur le carbonate de calcium (CaCO₃) d'un échantillon de sol ou de roche.

Etape 2 : Préparation de la mesure :

Elle s'articule sur les étapes suivantes:

- Préparer une solution saturée de 250 ml de NaCl et verser la jusqu'à mi - hauteur de l'ampoule
- Faire Tarer la balance puis on pèse l'échantillon
- Placer l'échantillon dans l'erenmeyer
- A l'aide d'une pipette, verser le NaCl dans le tube de l'HCl
- A l'aide d'une grosse pince, mettre le tube dans l'erenmeyer
- Boucher l'erenmeyer
- Modifier la hauteur de l'ampoule de manière à ce que l'eau salée soit au même niveau dans l'ampoule et le tube gradué.
- Le contenu de l'erenmeyer sera alors à la pression atmosphérique.
- Noter le niveau dont la différence correspond au volume de CO₂ dégagé

Etape 3 : La mesure

- Incliner l'erenmeyer afin de faire couler l'acide sur l'échantillon.
- Reposer l'erenmeyer et attendre la fin de l'effervescence.
- La pression dans le tube gradué est alors supérieure à la pression atmosphérique.
- Le CO₂ dégagé est maintenant à pression atmosphérique : on peut **faire la mesure**.

La quantité de Carbonates de calcium est mesurée à l'aide d'un dispositif dit le calcimètre de Bernard selon la méthode suivante :

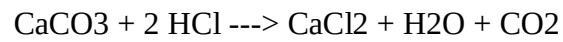
- Dans cette opération, nous avons utilisé trois pourcentages différents de CaCO₃ notamment le 1%, le 3 % et le 5%.
- Les poids sont déterminés à l'aide de la formule suivante : $(p' \cdot v / p \cdot v') \cdot 100$

On utilise les lois des concentrations molaires et massiques pour déterminer le volume de CO₂ pour calculer le pourcentage $p = (p' \cdot v / p \cdot v') \cdot 100$ (p, v, p', v' sont les poids et les volumes successives des échantillons avant et après l'ajout du calcium).

➤ **Exemple:**

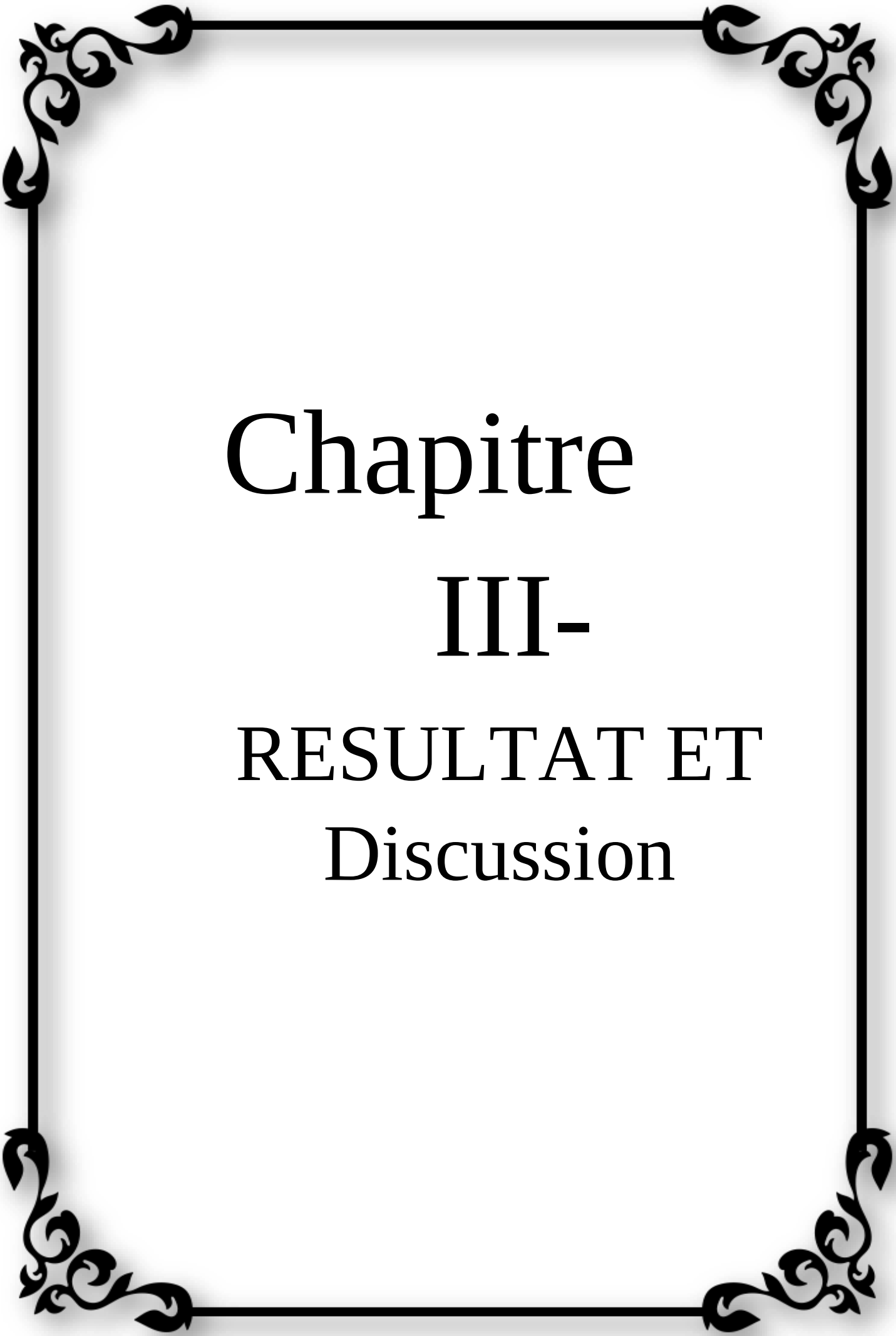
V	P	v'	p' *v	p * v'	(p'*v/p*v')	(p'*v/p*v')*100
7	1	26	2,1	26	0,080769231	8,076923077

La réaction qui conduit à la quantification de CO₂ dégagé et conséquemment à l'évaluation de la quantité de calcaire est résumé selon l'équation suivante (Savage, 1945).

➤ **Analyse statistique**

Les résultats sont analysés statistiquement à l'aide du logiciel Statistica 7.1.

L'analyse de la variance (ANOVA) est réalisée pour tester la significativité des variables mesurables sous l'effet du MAP. Le test LSD Fisher utilisé permet de comparer les groupes de différences à $\alpha=0.05$.



Chapitre

III-

RESULTAT ET

Discussion

Chapitre III - Résultats et discussions

2. Résultats sous forme d'observation :

Les mesures effectuées sur les plantes reflètent un effet considérable de l'utilisation de MAP sur le sorgho. De façon générale, les plantes traitées avec ce fertilisant s'accroîtraient rapidement par rapport aux plantes non traitées surtout en présence du calcaire.

Les résultats rapportent une importante croissance racinaire chez les plantes témoin non traitées par le MAP par rapport à celle des plantes non traitées par ce fertilisant et traitées par le CaCO_3 . Par contre, dans le cas des plantes traitées par le MAP, les racines deviennent plus longues et plus denses pour toutes les plantes surtout si on les compare avec le témoin avec MAP dont la longueur des racines est clairement inférieure à 20 cm. Tandis que la longueur des racines des plantes disposées au calcaire excède les 20 cm.

De façon générale, les plantes mises sous l'effet du fertilisant montrent une croissance plus rapide en comparant avec celles non traitée et cela va agir sur la longueur et le poids des plantes.



Figure 16 : Des plantes traitées et non traitées avec le MAP (Hellou, 2022)

La figure 16 (c) explique la différence entre le sol de la wilaya de Naama et le terreau. Une meilleure croissance chez les plantes témoins soumises au terreau est apparue ; alors que pour celles soumises au sol de la wilaya de Naama indiquent une mauvaise croissance.

2. Résultats sous forme d'histogramme :

2.1. La croissance de la plante :

2.1.1. La longueur

➤ En absence du MAP :

Les résultats de la figure 17 révèlent une excellente croissance en longueur aérienne et racinaire des plantes soumises au terreau par rapport au sol de la wilaya de NAAMA. De plus, ces résultats enregistrent pour la partie aérienne des valeurs voisines sous l'effet de différentes concentrations de CaCO_3 par rapport au témoin du sol, avec une augmentation de longueur sous l'effet de la concentration la plus élevée 5 % de CaCO_3 (40,33 cm).

Tableau 04 : La longueur (cm) des deux parties du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) (partie aérienne et racinaire) sous l'effet de CaCO_3 et sans l'utilisation du fertilisant MAP :

Les concentrations	Témoin du terreau	Témoin du sol	1%	3%	5%
La partie aérienne (cm)	87,16	35,33	35,35	37,66	40,33
La partie racinaire (cm)	31,16	19,33	20,33	21,3	24

Les résultats de l'analyse de la variance montrent un effet non significatif du CaCO_3 sur la longueur de la partie aérienne (**Tableau 05**) et la partie racinaire (**Tableau 06**) du sorgho à $\alpha = 0.05$ ($p = 0^{**}$).

Tableau 05 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du CaCO_3 et du MAP sur la longueur de la partie aérienne du sorgho

Variable	Longueur partie aérienne		MAP ***	Interaction ^{NS} CaCo3 vs MAP <i>P-value</i> = 0.186
CaCo3	Sans MAP	Avec MAP	<i>P-value</i> < 0.001	
T	35,33 ± 2,33 a	54,67 ± 0,33 b	CaCo3 ^{NS} <i>P-value</i> = 0.063	
1 %	34,33 ± 0,88 a	48,33 ± 1,20 b		
3 %	34,67 ± 0,88 a	49,33 ± 1,20 b		
5 %	40,33 ± 1,20 a	51,33 ± 3,84 b		

*** test statistique hautement significatif au seuil critique $\alpha = 0.05$

NS : test statistique non significatif

Tableau 06 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du CaCO₃ et du MAP sur la longueur de la partie racinaire du sorgho

Variable	Longueur partie racinaire		MAP *	Interaction ^{NS} CaCo3 vs MAP <i>P-value</i> = 0.991
CaCo3	Sans MAP	Avec MAP	<i>P-value</i> = 0.028	
T	19,33 ± 0,67 a	18,33 ± 0,88 b	CaCo3 ^{NS} <i>P-value</i> = 0.123	
1 %	20,33 ± 0,33 a	19,33 ± 0,33 b		
3 %	19,00 ± 0,58 a	18,00 ± 0,58 b		
5 %	19,00 ± 1,00 a	17,67 ± 0,33 b		

* test statistique significatif au seuil critique $\alpha = 0.05$

NS : test statistique non significatif

Les mêmes résultats sont signalés pour les longueurs de la partie racinaire avec une croissance racinaire observable (24 cm) sous l'effet de 5 % de CaCO₃ comparativement au témoin du sol (19,33 cm).

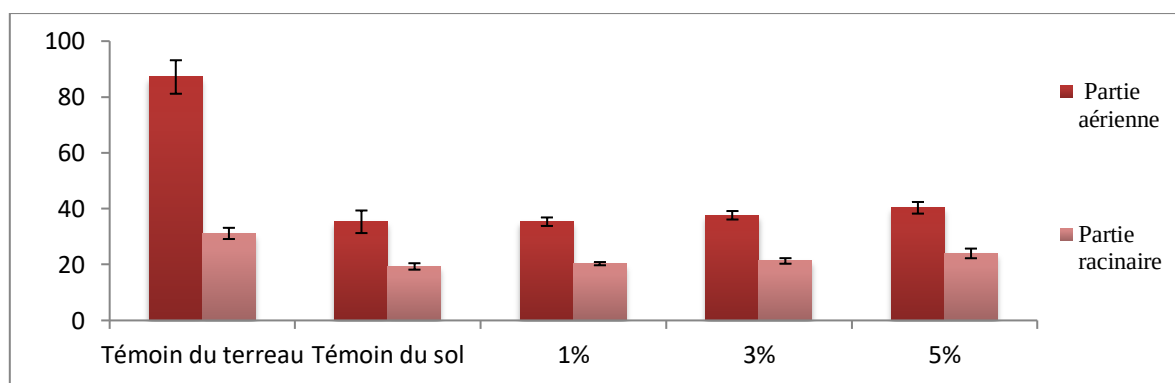


Figure 17 : Variation de la longueur (cm) de la partie aérienne et souterraine du sorgho non traité avec le MAP sous l'effet du calcaire.

➤ En présence du MAP :

Pour les sols traités avec le fertilisant MAP, on remarque que les valeurs de la longueur de la partie aérienne montrent une claire croissance en présence de CaCO_3 et du MAP. L'enrichissement du milieu extérieur par le calcaire et le MAP aide la plante à se croître en donnant ces valeurs 48,33, 49,33 et 51,33 cm sous l'effet de 1, 3 et 5% respectivement par rapport au témoin (44,68 cm).

Pour la partie racinaire, les valeurs rapportent une légère différence entre elles. Les longueurs enregistrées augmentent en fonction de l'augmentation de CaCO_3 .

Tableau 07 : La longueur (cm) des deux parties du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) (partie aérienne et racinaire) sous l'effet de CaCO_3 et l'utilisation du fertilisant MAP :

Les concentrations	Témoin	1%	3%	5%
La partie aérienne (cm)	44,68	48,33	49,33	51,33
La partie racinaire (cm)	18,33	19,33	20,44	23,8

Les résultats de l'analyse de la variance montrent un effet non significatif du MAP sur la longueur de la partie aérienne (**Tableau 05**) et la partie racinaire (**Tableau 06**) du sorgho à $\alpha = 0.05$ ($p = 0^{**}$).

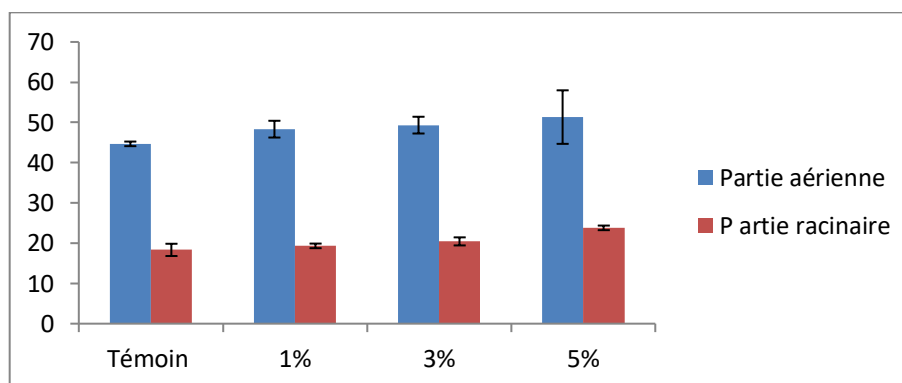


Figure 18 : Variation de la longueur (cm) de la partie aérienne et souterraine du sorgho traité avec le MAP sous l'effet du calcaire.

Comparaison des parties aériennes des plantes traitées et non traitées par le MAP :

L'histogramme suivant compare les longueurs de la partie aérienne des plantes traitées et non traitées par le MAP :

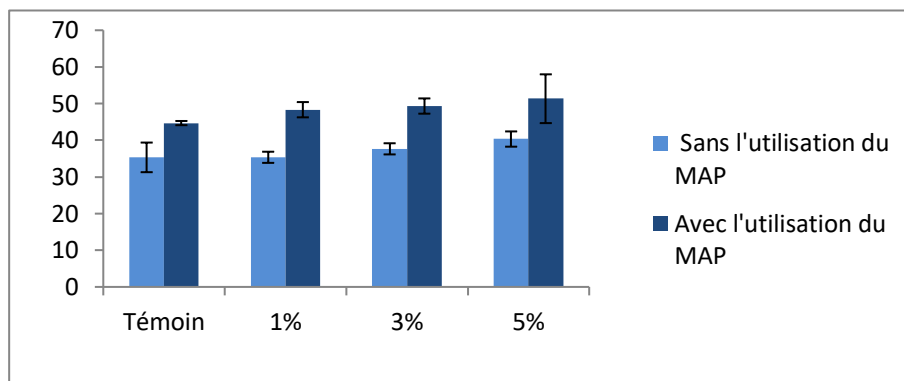


Figure 19 : Comparaison des longueurs de partie aérienne sans et avec MAP sous l'effet du calcaire.

On constate que la longueur de la partie aérienne des plantes traitées par le MAP en présence et en absence du CaCO_3 est d'environ de 50 cm tandis que la longueur de la partie aérienne non traitée avec MAP est comprise approximativement entre 35 et 40 cm.

Comparaison des parties racinaires des plantes traitées et non traitées par le MAP :

L'histogramme suivant illustre une comparaison entre les longueurs de la partie racinaire des échantillons de sorgho avec et sans l'utilisation de MAP :

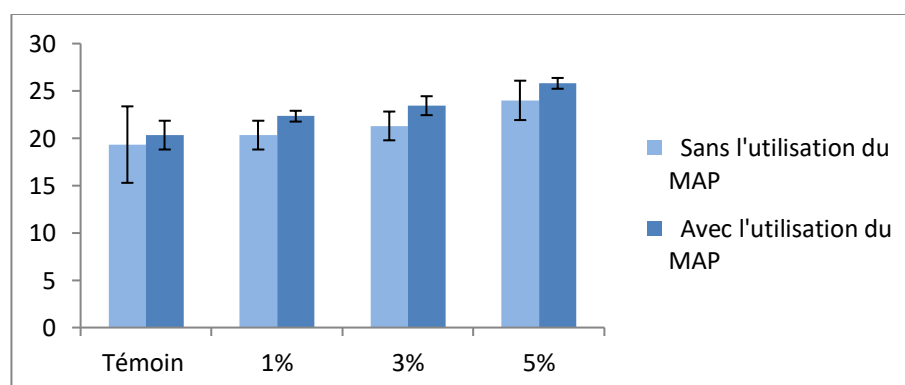


Figure 20 : Comparaison des longueurs de partie racinaire sans et avec MAP sous l'effet du calcaire.

Les résultats indiquent une augmentation en longueur racinaire sous l'effet du MAP en présence et en absence du calcaire.

2.1. 2. Le poids frais :

➤ En absence du MAP:

Les résultats de mesures en poids sont résumés au graphique suivant. D'abord les poids frais sont toujours supérieurs au poids secs à cause de la perte d'eau. On remarque que les poids de la partie racinaire sont supérieurs aux poids de la partie aérienne que ce soit pour les poids sec ou les poids frais.

Tableau 08 : Le poids frais (g) des deux parties du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) (partie aérienne et racinaire) sous l'effet de CaCO₃ et sans l'utilisation du fertilisant MAP :

Les concentrations	Témoin du terreau	Témoin du sol	1%	3%	5%
La partie aérienne (g)	10,7	0,82	0,69	0,92	0,75
La partie racinaire (g)	20,1	2,02	1,66	1,7	1,38

Les résultats de l'analyse de la variance montrent un effet non significatif du CaCO₃ sur le poids frais de la partie aérienne (**Tableau 09**) du sorgho à $\alpha = 0.05$ ($p = 0^{**}$).

Au niveau racinaire, les plantes témoins représentent un effet significatif par rapport aux plantes traitées par 5% de CaCO₃. Les deux concentrations 1 et 3 % ne représentent aucune différence significative avec le témoin (**tableau 10**).

Tableau 09 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du CaCO₃ et du MAP sur le poids frais de la partie aérienne du sorgho

Variable	Poids frais partie aérienne		MAP **	Interaction ^{NS} CaCo3 vs MAP <i>P-value = 0.137</i>
CaCo3	Sans MAP	Avec MAP	<i>P-value= 0.002</i>	
T	0,827 ± 0,164 a	1,057 ± 0,018 b	CaCo3 ^{NS} <i>P-value = 0.887</i>	
1 %	0,693 ± 0,094 a	1,107 ± 0,047 b		
3 %	0,923 ± 0,132 a	0,900 ± 0,005 b		
5 %	0,757 ± 0,140 a	1,193 ± 0,098 b		

** test statistique très significatif au seuil critique $\alpha = 0.05$

NS : test statistique non significatif

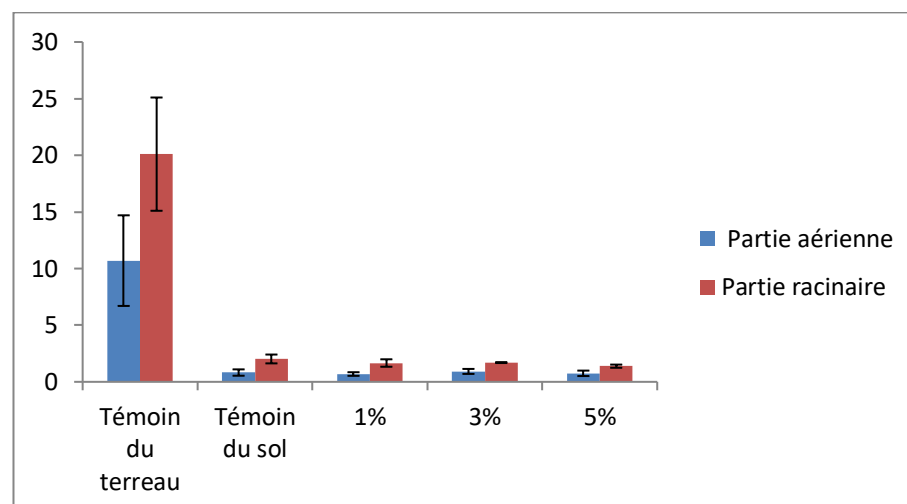
Tableau 10 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du CaCO₃ et du MAP sur le poids frais de la partie racinaire du sorgho

Variable	Poids frais partie racinaire		MAP ***	Interaction * CaCo3 vs MAP <i>P-value</i> = 0.02
CaCo3	Sans MAP	Avec MAP	<i>P-value</i> < 0.001	
T	2,020 ± 0,231 abd	2,437 ± 0,257 d	CaCo3 *** <i>P-value</i> < 0.001	
1 %	1,663 ± 0,191bc	3,033 ± 0,219 e		
3 %	1,700 ± 0,026bc	2,103 ± 0,055 bd		
5 %	1,383 ± 0,084 c	1,710 ± 0,118bc		

*** test statistique hautement significatif au seuil critique $\alpha = 0.05$

* test statistique significatif au seuil critique $\alpha = 0.05$

Les moyennes avec les lettres distinctes sont significativement distinctes au seuil critique $\alpha = 5 \%$

**Figure 21 :** Variation de poids frais (g) de la partie aérienne et racinaire du sorgho non traité avec le MAP sous l'effet du calcaire.

Selon nos résultats, le poids frais des plantes témoins soumises au terreau enregistre une valeur importante par rapport au témoin du sol de la wilaya de Naama (10,7 g contre 0,82 g pour la partie aérienne et 20,1 g contre 2,02g pour la partie racinaire). Une légère chute en poids frais est signalée chez les deux parties de la plante comparativement au témoin du sol sauf pour la concentration 3 % qui enregistre une légère augmentation.

➤ En présence du MAP:

D'abord il est toujours notable que la moyenne des poids sec est inférieure à la moyenne des poids frais pour tous les échantillons.

Tableau 11: Le poids frais (g) des deux parties du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) (partie aérienne et racinaire) sous l'effet de CaCO₃ et avec l'utilisation du fertilisant MAP :

Les concentrations	Témoin	1%	3%	5%
La partie aérienne (g)	1,05	1,1	0,9	1,19
La partie racinaire (g)	2,43	3,03	2,1	1,71

L'utilisation du MAP améliore la croissance et donc le poids frais des plantes traitées et non traitées par le calcaire. La figure 23 révèle chez le témoin un poids racinaire (2,43 g) doublé en comparant avec la partie aérienne (1,05 g). Un maximum est enregistré chez les racines sous l'effet de 1 % de calcaire comparativement au témoin et qui chute légèrement sous les autres concentrations par rapport au témoin toujours. Pour la partie aérienne, des valeurs voisines sont enregistrées.

Les résultats de l'analyse de la variance montrent un effet non significatif du MAP sur le poids frais de la partie aérienne (**Tableau 09**) du sorgho à $\alpha = 0.05$ ($p = 0^{**}$).

Pour les racines, l'analyse statistique indique un effet significatif du MAP entre le témoin et la concentration 1 et 5 % de CaCO₃ (**Tableau 10**).

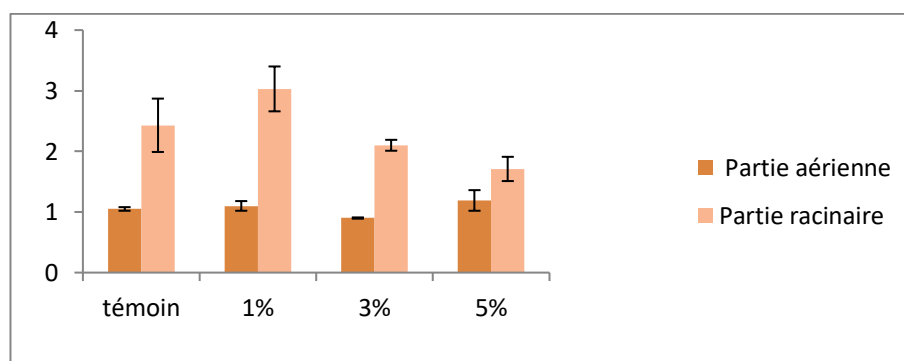


Figure 22 : Variation de poids frais (g) de la partie aérienne et racinaire du sorgho traité avec le MAP sous l'effet du calcaire.

2.1. 3. Le poids sec :

➤ En absence du MAP:

La valeur du poids sec indiquée dans la figure 22 enregistre un maximum chez les plantes témoins soumises au terreau quelque soit pour les racines (11,33 g) ou pour la partie aérienne (5,3 g) comparativement aux plantes soumises au sol de la wilaya de Naama (0,69 g pour les racines et 0,22 g pour la partie aérienne). Une légère chute est enregistrée chez les deux parties et sous toutes les concentrations avec une exception chez les racines à 3% du calcaire.

Tableau 12 : Le poids sec (g) des deux parties du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) (partie aérienne et racinaire) sous l'effet de CaCO₃ et sans l'utilisation du fertilisant MAP :

Les concentrations	Témoin du terreau	Témoin du sol	1%	3%	5%
La partie aérienne (g)	5,3	0,22	0,16	0,15	0,2
La partie racinaire (g)	11,33	0,69	0,54	1,15	0,7

Les résultats de l'analyse de la variance montrent un effet non significatif du CaCO₃ sur le poids sec de la partie aérienne (**Tableau 13**) et la partie racinaire (**Tableau 14**) du sorgho à $\alpha = 0.05$ ($p = 0^{**}$).

Tableau 13 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du MAP sur le poids sec de la partie aérienne du sorgho

Variable	Poids sec partie aérienne		MAP ***	Interaction *** CaCo3 vs MAP <i>P-value</i> < 0.001
CaCo3	Sans MAP	Avec MAP	<i>P-value</i> < 0.001	
T	0,223 ± 0,022 a	0,543 ± 0,023 b	CaCo3 *** <i>P-value</i> < 0.001	
1 %	0,163 ± 0,013 a	0,567 ± 0,037 b		
3 %	0,150 ± 0,017 a	0,317 ± 0,026 c		
5 %	0,200 ± 0,030 a	0,707 ± 0,058 d		

*** test statistique hautement significatif au seuil critique $\alpha = 0.05$

Les moyennes avec les lettres distinctes sont significativement distinctes au seuil critique $\alpha = 5 \%$

Tableau 14 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du MAP sur le poids sec de la partie racinaire du sorgho

Variable	Poids sec partie racinaire		MAP ***	Interaction * CaCo3 vs MAP <i>P-value</i> = 0.035
CaCo3	Sans MAP	Avec MAP	<i>P-value</i> < 0.001	
T	0,697 ± 0,026 ab	1,607 ± 0,127ac	CaCo3 ^{NS} <i>P-value</i> = 0.157	
1 %	0,540 ± 0,036 b	2,143 ± 0,382d		
3 %	1,153 ± 0,069 a	1,680 ± 0,195acd		
5 %	0,700 ± 0,130 ab	1,360 ± 0,164 a		

*** test statistique hautement significatif au seuil critique $\alpha = 0.05$

* test statistique significatif au seuil critique $\alpha = 0.05$

Les moyennes avec les lettres distinctes sont significativement distinctes au seuil critique $\alpha = 5 \%$

NS : test statistique non significatif

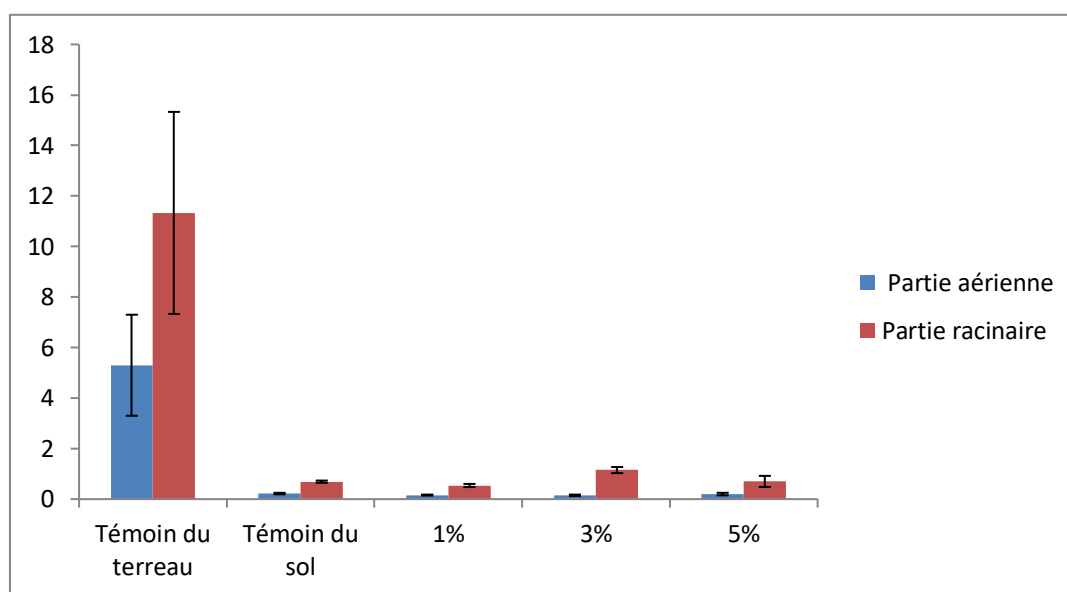


Figure 23 : Variation de poids sec (g) de la partie aérienne et racinaire du sorgho non traité avec le MAP sous l'effet du calcaire.

➤ En présence du MAP:

Ces résultats confirment que l'ajout du MAP au sol améliore la croissance si on compare avec les résultats précédents (en absence du MAP).

Pour la partie racinaire, on remarque un bon effet du MAP sur la croissance (2,14 g) sous l'effet de 1% du calcaire ; alors que chez la partie aérienne, la meilleure croissance est enregistrée sous 5% (0,7 g).

Tableau 15: Le poids sec (g) des deux parties du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) (partie aérienne et racinaire) sous l'effet de CaCO₃ et avec l'utilisation du fertilisant MAP :

Les concentrations	Témoin	1%	3%	5%
La partie aérienne (g)	0,54	0,56	0,31	0,7
La partie racinaire (g)	1,6	2,14	1,68	1,36

Les résultats de l'analyse de la variance montrent un effet non significatif du MaP sur le poids sec de la partie aérienne entre le témoin et les concentrations 3 et 5 % de CaCO₃ (**Tableau 13**) et entre le témoin et 1 % de CaCO₃ (**Tableau 14**).

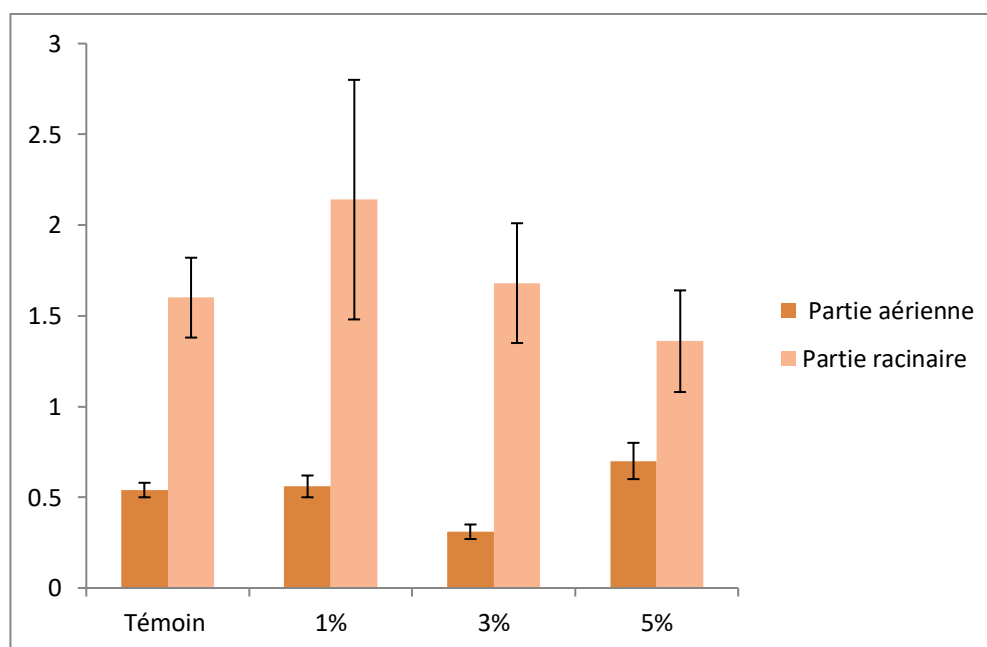


Figure 23 : Variation de poids sec (g) de la partie aérienne et racinaire du sorgho traité avec le MAP sous l'effet du calcaire.

2.2. Caractéristique biochimique :

2.2.1 .Chlorophylle a et b :

➤ En absence du MAP :

Les plantes témoin soumises au terreau signal une teneur plus importante en chlorophylle a (1332,62 µg/g MF) par rapport à celle du témoin du sol ; contrairement à la chlorophylle b qui est plus intéressante chez le témoin du sol.

Tableau 16 : La teneur en chlorophylle **a** et **b** (µg/g MF) du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) sous l'effet de calcaire et sans l'utilisation du MAP :

Les concentrations de CaCO ₃	Témoin du terreau	Témoin du sol	1%	3%	5%
Chlorophylle a	1332,62	1228,72	1823,96	1587,53	1677,66
Chlorophylle b	209,08	383,38	488,85	465,44	498,44

Les résultats de l'analyse de la variance montrent un effet non significatif du CaCO₃ sur la chlorophylle a et b du sorgho (**Tableau 17 et 18**).

Tableau 17 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du MAP sur la chlorophylle a du sorgho

Variable	Chlorophylle a		MAP *	Interaction ^{NS} CaCo3 vs MAP <i>P-value</i> = 0.129
CaCo3	Sans MAP	Avec MAP	<i>P-value</i> = 0.041	
T	1229 ± 015,9 a	6163 ±2960 b	CaCo3 ^{NS} <i>P-value</i> = 0.276	
1 %	1824 ± 104,7 a	2499 ± 109,4 b		
3 %	1588 ± 135,2 a	1802 ± 09,04 b		
5 %	1678 ± 119,9 a	2471 ± 167,4 b		

* test statistique significatif au seuil critique $\alpha = 0.05$

NS : test statistique non significatif

Tableau 18 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du MAP sur la chlorophylle b du sorgho

Variable	Chlorophylle B		MAP *	Interaction ** CaCo3 vs MAP <i>P-value</i> = 0.007
CaCo3	Sans MAP	Avec MAP	<i>P-value</i> = 0.017	
T	383 ± 04,92 ab	232 ± 107,6b	CaCo3 *** <i>P-value</i> < 0.001	
1 %	489 ± 49,24 a	668 ± 63,48ac		
3 %	465 ± 55,18 a	541 ± 21,55ac		
5 %	498 ± 48,88 a	908 ± 116,2 d		

*** test statistique hautement significatif au seuil critique $\alpha = 0.05$

** test statistique très significatif au seuil critique $\alpha = 0.05$

* test statistique significatif au seuil critique $\alpha = 0.05$

Les moyennes avec les lettres distinctes sont significativement distinctes au seuil critique $\alpha = 5 \%$

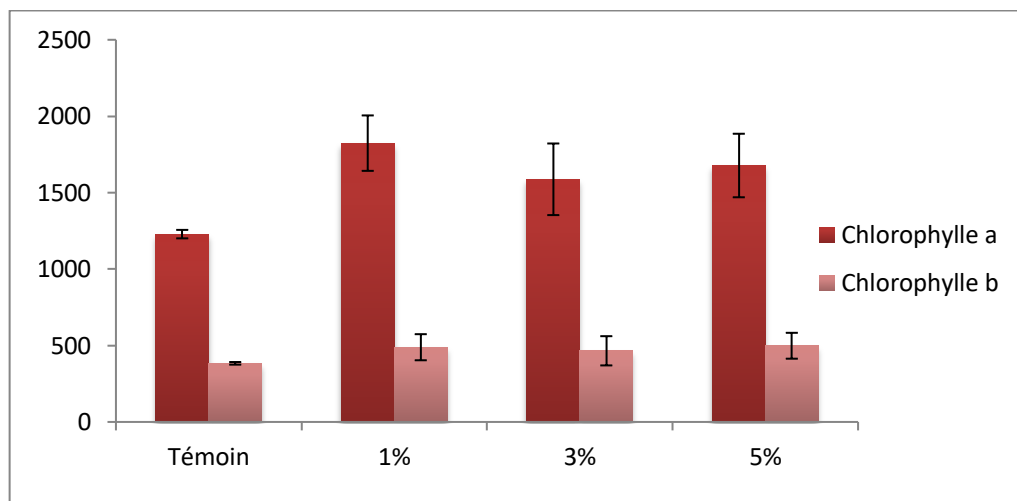


Figure 24 : La concentration de chlorophylle **a** et **b** en présence du calcaire et en absence du MAP.

➤ **En présence du MAP:**

Nos résultats présentent une forte chute en chlorophylle a sous l'effet du calcaire chez toutes les plantes et en présence du MAP. Pour la chlorophylle b, une importante accumulation est enregistrée sous l'effet des 3 concentrations utilisées dans cette expérimentation.

Tableau 19: La teneur en chlorophylle **a** et **b** ($\mu\text{g/g}$ MF) du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) sous l'effet de calcaire et l'utilisation du MAP :

Les concentrations de CaCO_3	Témoin	1%	3%	5%
Chlorophylle a	6162,63	2499,37	1802,03	2471,16
Chlorophylle b	88,71	668,41	541,16	907,59

Les résultats de l'analyse de la variance montrent un effet non significatif du MAP sur la chlorophylle a et un effet significatif sur la chlorophylle b du sorgho (**Tableau 17 et 18**).

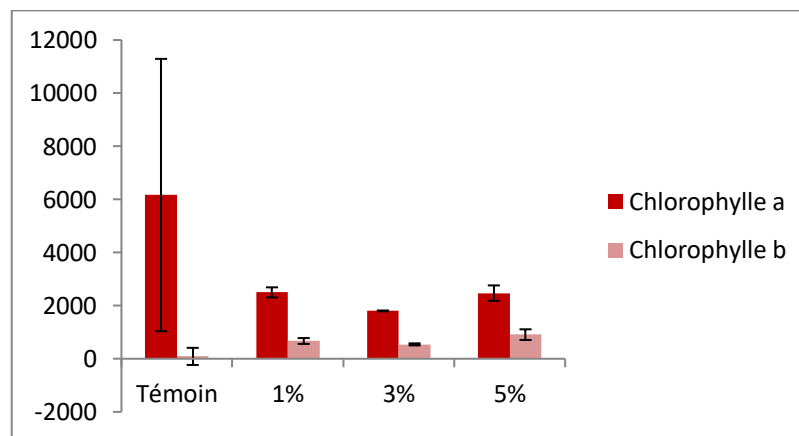


Figure 25 : La concentration de chlorophylle **a** et **b** en présence du calcaire et en présence du MAP.

3. Caractéristiques de sols :

Pour mesurer les poids des fractions de carbonates de calcium ajoutées au sol avec des pourcentages variables et différentes, nous avons assuré les calculs à l'aide de la formule de l'essai calcimétrique.

➤ En absence du MAP :

Une accumulation en calcaire est signalée dans le sol traité par différentes concentrations de la même molécule ajoutée sous forme de solution. Ces valeurs croissantes sont comparées au sol témoin.

Tableau 20: La teneur en CaCO₃ du sol sous l'effet du calcaire en solution et sans MAP :

Les concentrations de CaCO ₃	Témoin	1%	3%	5%
CaCO ₃ du sol	10,42	12,46	14,65	16,3

Les résultats de l'analyse de la variance montrent un effet significatif du CaCO₃ sur le CaCO₃ du sol entre le témoin et les deux concentrations 3 et 5 % de traitement (**Tableau 21**).

Tableau 21 : L'analyse de la variance (ANOVA) de l'effet du MAP sur le CaCO₃ du sol

Variable	(p'*v/p*v')*100		MAP ^{NS}	Interaction ^{NS} CaCo3 vs MAP P-value= 0.711
CaCo3	Sans MAP	Avec MAP	P-value= 0.549	
T	10,42 ± 1,17 a	11,30 ± 1,11 a	CaCo3 ** P-value= 0.002	
1 %	12,46 ± 0,87 ab	12,19 ± 1,15ab		
3 %	14,65 ± 1,36bc	13,65 ± 0,38bc		
5 %	16,30 ± 1,43 c	14,84 ± 0,51 c		

** test statistique très significatif au seuil critique $\alpha = 0.05$

Les moyennes avec les lettres distinctes dans la même colonne sont significativement distinctes au seuil critique $\alpha = 5 \%$

NS : test statistique non significatif

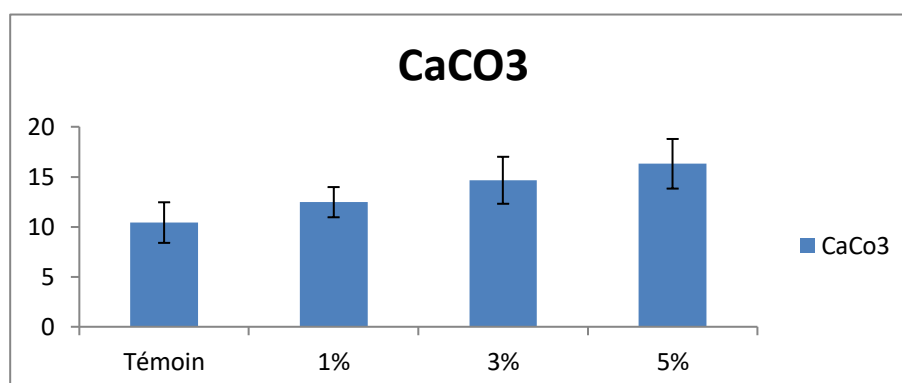


Figure 26 : Les teneurs en CaCO₃ accumulées dans le sol dépourvue de MAP

➤ En présence du MAP :

Les résultats enregistrent une augmentation en calcaire du sol sous l'effet du CaCO_3 à toutes les concentrations et le MAP.

Tableau 22: La teneur en CaCO_3 du sol sous l'effet du calcaire en solution et en présence du MAP :

Les concentrations de CaCO_3	Témoin	1%	3%	5%
CaCO_3 du sol	11,3	12,19	13,65	14,84

Les résultats de l'analyse de la variance montrent un effet significatif du MAP sur le CaCO_3 du sol entre le témoin et les deux concentrations 3 et 5 % de traitement (**Tableau 21**).

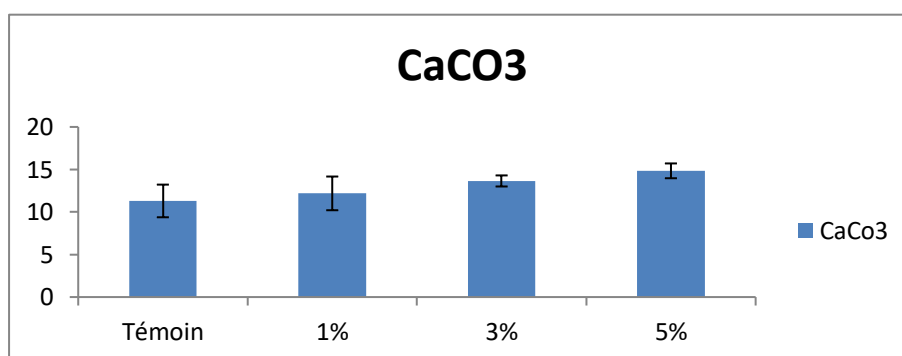


Figure 27 : Les teneurs en CaCO_3 accumulées dans le sol riche en MAP

Discussion :

La croissance et le développement d'une culture représentent les transformations quantitatives et qualitatives qui accompagnent le parcours des différentes étapes de sa vie depuis l'implantation jusqu'à la maturité (**Feillet, 2000**). Elle est définie par l'augmentation irréversible de toutes les dimensions de la plante : longueur, surface, volume, largeur, diamètre et masse (**Tayeb, 1995**).

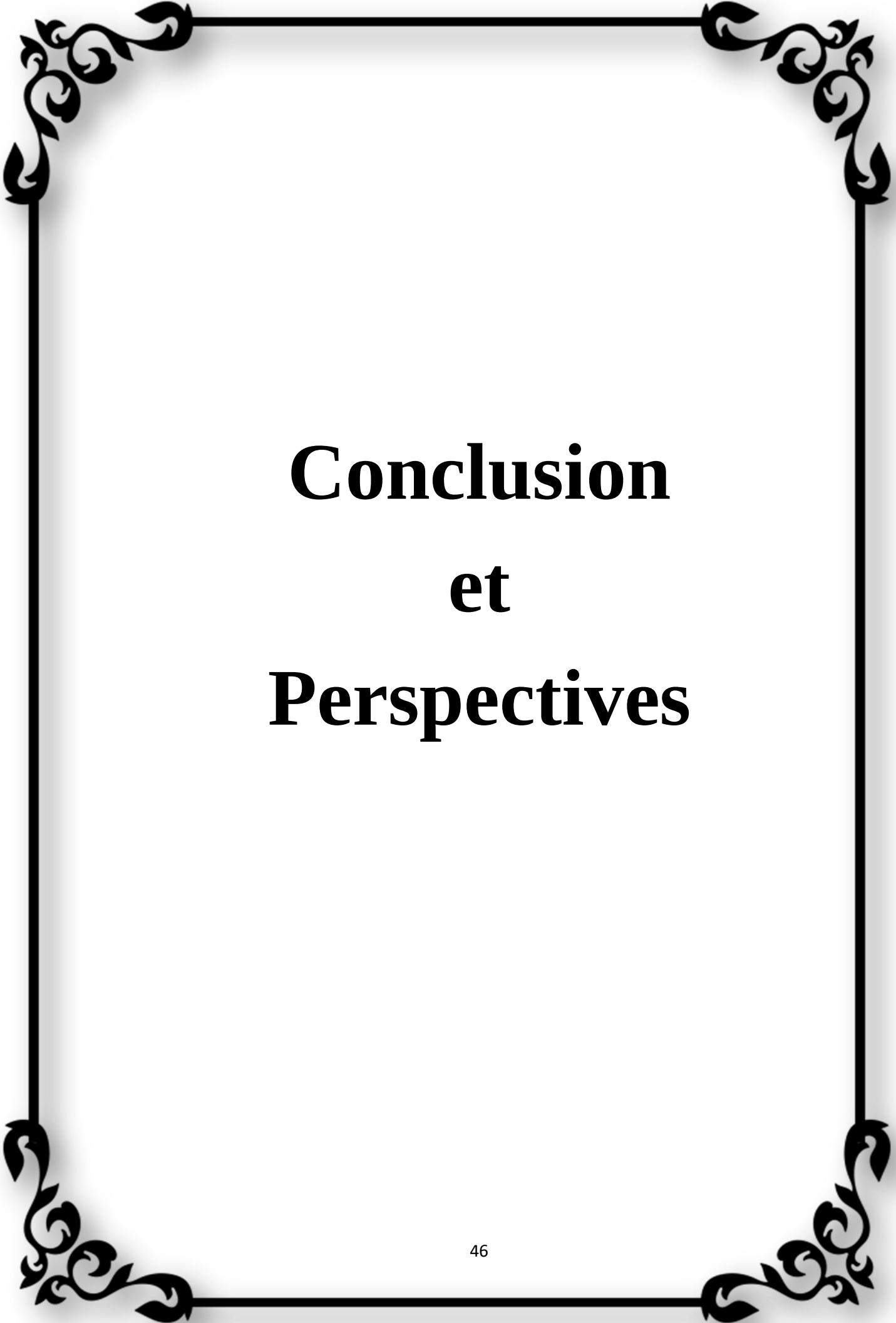
Le fertilisant MAP est très essentiel pour la croissance du sorgho, parce qu'il contient une quantité importante de phosphore qui est un macroélément essentiel et qui joue un rôle capital dans le transfert d'énergie, le règlement métabolique, et l'activation de protéine (**Priya Et Sahi, 2009**).

Pour nos résultats, on n'a pas eu une très bonne croissance quelque soit pour le témoin ou pour les plantes traitées par le calcaire car le sol utilisé n'est pas favorable au sorgho et cela est confirmé par l'essai d'un autre témoin dans le terreau qui montre une excellente croissance. Nos résultats indiquent une augmentation en longueur aérien et racinaire sous l'effet du calcaire par rapport au témoin, cela pourrait être dû à l'absorption du calcium par la plante ce qui conduit à la croissance. En mélangeant le MAP au sol, les plantes augmentent sa partie aérienne et ses racines. Le poids frais et le poids sec chute en présence du calcaire, cela pourrait être dû à la concentration élevée dans le milieu extérieur ce qui empêche le passage de l'eau vers l'intérieure de la plante. La présence du MAP aide la plante à faire entrer l'eau et donc augmente le poids de la plante. Selon **Lambert (1979)**, ce fertilisant contribue à la croissance et au développement des racines, de la fructification et de la mise à graine, et il intervient partout où il y a multiplication cellulaire d'où l'importance du phosphore dans les phénomènes de croissance et de reproduction. Les travaux de **Hopkins (1999)** montrent que l'effet de phosphore stimule préférentiellement la croissance des racines comparée à celle des tiges et des feuilles. La présence du calcaire en quantité importante a une influence défavorable sur les propriétés physico-chimiques, notamment sur la disponibilité et l'absorption des éléments minéraux nécessaires pour la vie végétale essentiellement compris le phosphore (**Mihoub et Draoui, 2014**).

Le calcaire chez le sorgho stimule la photosynthèse par l'augmentation de la chlorophylle a et b, ce qui conduit à une bonne croissance. Le MAP en présence du calcaire conduit chez le sorgho à la diminution de la chlorophylle a et à l'accumulation de la chlorophylle b. Ces résultats n'empêchent pas la bonne croissance du sorgho. Selon

Hopkins (2003), le MAP joue un rôle extrêmement important dans la photosynthèse et le métabolisme intermédiaire et son rôle rentre dans tous les processus de croissance.

L'arrosage par la solution du calcaire conduit à l'accumulation du calcaire dans le sol en présence et en absence du MAP. Le calcaire dans le sol influe sur son pH qui influe à son tour sur l'assimilation du phosphore. Dans les sols calcaires, riches en Ca^{2+} , la forme dominante du phosphore est celle du P-Ca (phosphate lié au calcium) (*Mckenzie et al, 2003*), caractérisée par une faible labilité (*Gachon, 1988*).



Conclusion et Perspectives

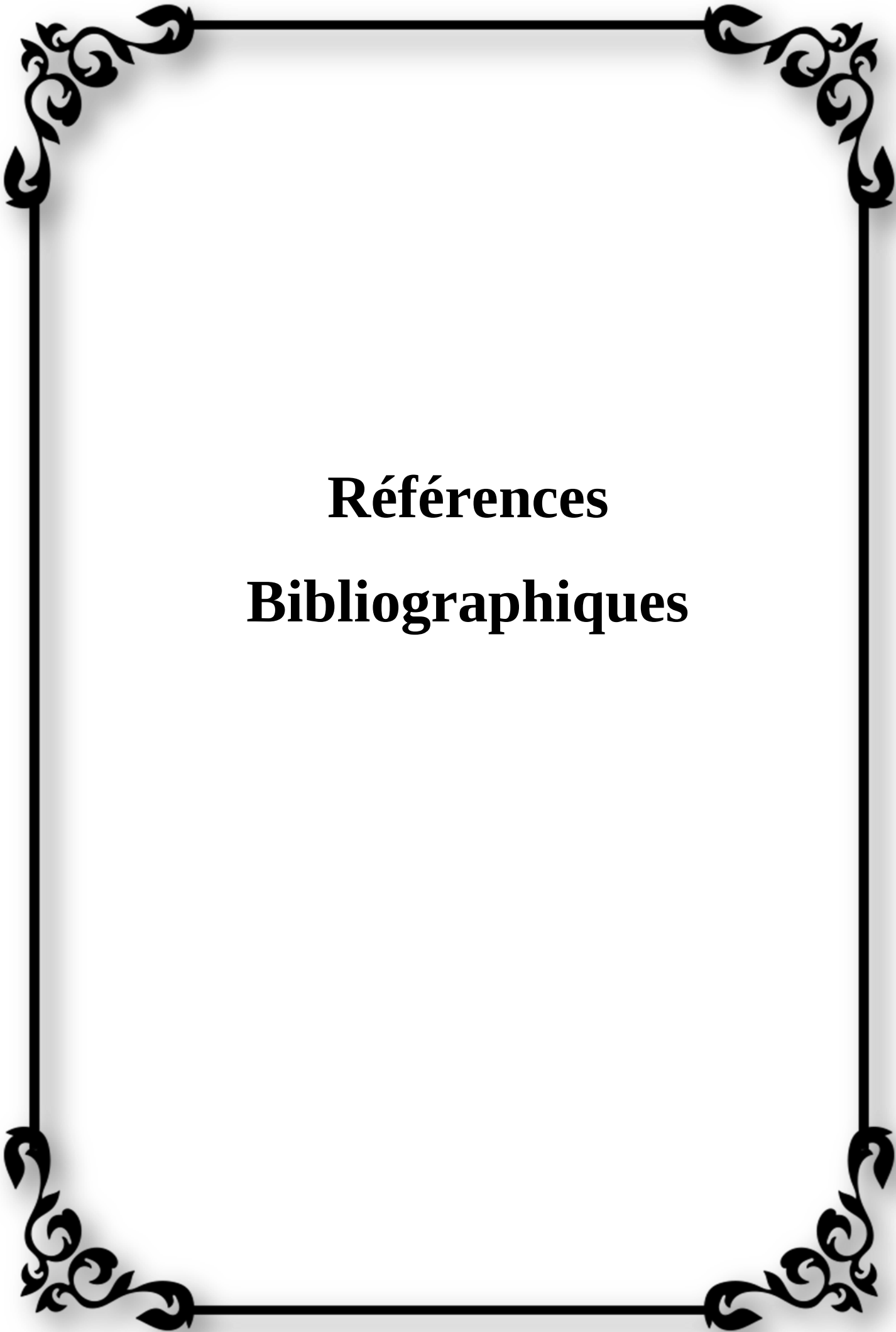
Conclusion et perspectives:

Au terme de ce travail de recherche, sur l'effet de fertilisant MAP sur la croissance du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) sous l'effet du calcaire, nous avons obtenu des résultats qui nous permettent de constater que le fertilisant MAP a un rôle important dans la croissance. La dose du MAP a exercée un effet favorable sur l'amélioration de la croissance aérienne et racinaire malgré que le sol utilisé ne soit pas idéal pour cette culture. Selon nos résultats, la meilleure concentration en calcaire et qui donne des bons résultats avec le MAP est de 1 %.

Le type de sol utilisé a un effet sur la croissance du sorgho, cela est confirmé par notre expérimentation sur deux types de sol : un sol constitué d'un mélange du terreau et du sable et l'autre constitué du sol de la wilaya de Naama. Les résultats enregistrent une très bonne croissance du sorgho dans terreau contrairement au sol de la wilaya qui révèle une faible croissance.

Les résultats obtenus restent préliminaires et ne permettent pas de conclure l'effet du MAP sur les paramètres biochimiques et la croissance du sorgho. Avec d'autres recherches similaires nous pouvons effectuer un résonnement de fertilisation phosphaté qui prend en compte la nature physico-chimique des sols algérien notamment de type calcaire. Les techniques de fertilisation préconisée sont ceux qui permettent de réduire la rétrogradation, d'augmenter les rendements et permettent aussi de déduire le coût de production et d'augmenter le bénéfice.

Comme perspectives, on note que des essais pluriannuels ou de longue durée sont à recommander en élargissant la gamme des doses du MAP apportée, et même l'utilisation d'un sol convenable pour cette culture. Il sera mieux d'allonger l'âge de la plante avec la présence d'un autre lot des plantes traitées avec différentes concentrations en MAP et avec d'autres concentrations en calcaire plus faible.



Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

Abga, P. T. (2013). Détermination des options de fertilisation organo-minérale et de densité de semis pour une intensification de la production du maïs dans la région de l'Est du Burkina Faso. Université polytechnique de Bobo-Dioulasso Institut du Développement Rural.

Andrews M, Raven JA et Lea PJ (2013) Les plantes ont-elles besoin de nitrate ? Les mécanismes par lesquels l'azote forme affectent les plantes. *Annals of Applied Biology* 163 : 174-199.

Antoine. V (51) Agrico' Notes

Asieduj J., 1989: Transformation des produits agricoles en zone tropicale : approche technologique. Edit. Karthala et CTA, ISBN 2-86537-3347, 335p.

Benton, J, et Jones, J. (2012). Plant nutrition and soil fertility manual (2e éd.). CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business.

Benton, J., et Jones, J. (2012). Plant nutrition and soil fertility manual (2e éd.). CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business.

Berenji et Dahlberg (2004) Perspectives du sorgho en Europe. *Journal de la science des cultures agronomiques* 1905: 332-338.

Berenji J, Dahlberg J, Sikora V et Latkovik D (2011) Origine, histoire, morphologie, production, Amélioration et utilisation du genêt [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] en Serbie. *Économique Botanique* 65(2): 190-208.

Chantereau J., 1994. La taxonomie du sorgho. In : *Acte de l'atelier de formation sur les variétés locales de sorgho*, 10-14 octobre, Bamako/Mali : PP 17-27.

Chantereau J, Cruz J, Ratnadass A. Presses Agronomiques de Gembloux, Quae, CTA, Gembloux, 2013.

Chantereau J., Cruz J.F., Ratnadass A., Trouche G. & Fliede G. (2013). Presses Agronomiques de Gembloux, Quae, CTA, Gembloux, 244 p.

-CHANTEREAU J. et NICOU R., 1991. Le sorgho. Paris, Maisonneuve et Larose, Collection le technicien de l'agriculture tropicale, 159p ;

-CHANTEREAU J. et NICOU R., 1991. Le sorgho. Paris, Maisonneuve et Larose, Collection le technicien de l'agriculture tropicale, 159p.

- Deblay, S., et Charonnat, C. (2006). Fertilisation et amendements : Dossier d'autoformation. Educagri éd.
- Dehaynin N., 2007 : Utilisation du sorgho en alimentation animale. These, Univ Claude-Bernard. Lyon. France.18.
- Dogget. (1988) Sorgho 2e édition. Londres New York Longman ; publié par Wiley.
- F.A.O., 1991 : Annuaire de la production 1990. 44. Série statistique de la FAO n° 99. Rome.
- Francou, C. (2004). Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage— Recherche d'indicateurs pertinents. Institut national agronomique paris-grignon ecole doctorale abies.
- G.TROUCHE, G.fliedel,J.Chantereau et C.Barro . Productivité et la qualité des grain de sorgho pour le tot en Afrique de l'ouest : les nouvelles voies d'amélioration ;
- Gérald, H., Christiane, S., et Environnement-Innovation, S. (2011b). Avec le La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. 46.
- Gregorich EG, Rochette P, St-Georges P, McKim UF et Chan C (2008) Tillage effects on N₂O emission from soils under corn and soybeans in Eastern Canada. Canadian J Soil Sci 88: 153-161.
- Hariprasanna et Patil (2015) Sorgho : origine, classification, biologie et amélioration. Sorgho reproduction moléculaire. Springer Inde 3-23.
- Harlan J.R. & De Wet J.M.J., 1972 : A Simplified Classification of Cultivated Sorghum. Crop science 12,172-176.
- House L.R., 1987 : Manuel pour la sélection du sorgho. Deuxième édition. Crop Research Institute for the Semi-AridTropics. 229.
- Jacob A, Fidelis A, Salaudeen K et Queen K (2013) Sorgho : céréale la plus sous-utilisée de l'Afrique semi-aride. Revue savante des sciences agricoles 3(4): 147-153.
- Jen-Hshuan, C. (2006). The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. 11.

Kaur, H. (2016). Effect of biofertilizers and organic fertilizers on soil health, growth and. (PDFDrive.com).pdf. Department of Microbiology College of Basic Sciences and Humanities ©PUNJAB AGRICULTURAL UNIVERSITY LUDHIANA -141004.

Kimber C, Dahlberg J et Kersovich S (2013) Le pool génétique du sorgho bicolore et son amélioration. Dans J. A. Clarissa T. Kimber, Genomics of the Saccharinae (pp. 23-41).

Les engrais et leurs applications. Première édition par la FAO, Rome, 1965.

Louise A., Paul K. and Akanza M.B., 2007 : Bien cultiver le sorgho en Côte d'Ivoire, CNRA, 123. 7. Maas E. V., 1996: Plant response to soil salinity. In: 4th National Conference and Workshop on the Productive Use and Rehabilitation of Saline Land. Promaco conventions Pty ltd, 25-30

Massaly F, (1992) : Etude de l'influence de la qualité des semences sur la levée , la croissance et le développement du sorgho, 23-25.

Moughli, L., (2000) : Transfert de technologie en agriculture : Les engrais minéraux caractéristiques et utilisation, N 72.1p 1-3-4

Mouria, B., & Allal, D. (2010). Valorisation agronomique du compost et de ses extraits sur la culture de la tomate. 27.

OLLITRAULT P., 1987. *Evaluation génétique des sorghos cultivés*, Sorghum bicolor (L.) Moench, *par l'analyse conjointe des diversités enzymatique et morpho-physiologique : relation avec les sorghos sauvages*.Thèse de doctorat, université Paris XI, Orsay, France, 187 p.

Robin Vergonjeanne., 2014 .Algérie: le sorgho, fourrage d'avenir. terre-net média.

Sautier D. et O'deye M., 1989: Mil, Mais, Sorgho techniques et alimentation au sahel. Harmattan. Paris, France, p 171.

Sheorain V, Banka R, Chavan M Production d'éthanol à partir de sorgho. Technique et institutionnel options pour la gestion des moisissures dans les grains de sorgho : comptes rendus d'une consultation internationale, 18-19 mai

Singh et Lohithaswa (2006) Sorgho. Dans K. Chittaranjan, Cartographie du génome et moléculaire Breeding in Plants, Volume 1 Cereals and Millets Berlin Heidelberg : Springer-Verlag (pp. 257-302).

Smith C.W., Frederiksen R.A., 2000: Sorghum: Origin, History, Technology and Production. Wiley John and Sons, New York, 824.

SOLTNER, 2005, Les bases de la production végétale: tome 1 le sol et son amélioration. , SOLTNER ,472 p.

Thi-Phuong, N. (2014). Effets des amendements organiques exogènes sur la composition de la matière organiques et le stockage du carbone d'un sol dégradé par l'érosion dans le Nord du Vietnam. L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE.

Wendorf F., Close A.E., Schild R., Wasylikowa K., Housley R.A., Harlan J.R., Krolik H., 1992. Saharan exploitation of plants 8000 years BP. Nature, 359: 721-724.

Poisot T ; (Cereapro ,2017).

Cailleau M, (van iperen international 2022)

Bourgeois M, Coquillart E, Cournarie M, Claire F, Guide simplifié pour la description des sols, Chambre d'Agriculture Tarn (2006).

Karine C Carbonate de calcium, additif multifonctionnel, Date de publication : 10 avr. 2007. Réf : AM3222 v1.

Anaïs (Atelier jardinage, publié le 30/08/ 2018)

Geslot C publié sur jardin secrets le 10-11-2018.

Claire K - Futura planète - Publié le 18/11/2021.