



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

الجامعة الجزائرية زيان عاشور-

Université Ziane Achour – Djelfa

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم العلوم البيولوجيا

Département de Biologie

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en biologie

Spécialité: Biotechnologie végétale

Thème:

Impact de l'interaction plantes Bactéries champignons mycorhiziens sur la dissolution biologiques des phosphates

Présenté par: Smain Lamia

Senegra Fatiha

Devant le jury composé de :

Président :	M. ADLI B	M.C.A	U.Z.A. DJELFA
Examineur :	Mme. LAHRECH N	M.A.A	U.Z.A. DJELFA
Promoteur :	Mme. BENCHERIF K	M.C.A	U.Z.A. DJELFA

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciements

*Nos remerciements s'adressent d'abord à **ALLAH** le tout puissant de nous avoir accordé la santé et le courage pour réaliser ce travail.*

*La première personne que nous tenons à remercier est notre encadrante Mme. **Bencherif K**, 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.*

Nos remerciements vont aussi à tous les membres de jury qui ont accepté de lire et d'évaluer ce travail.

Nous remercions également tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Dédicace

A ma très chère mère

Tu représentes pour moi la source de la tendresse, le symbole de la bonté, et un exemple de dévouement qui n'a jamais cessé de m'encourager et de prier pour moi . Vos prières m'ont beaucoup aidé à terminer mes études.

A mon cher père

Pour vos sacrifices pour mon éducation, ma formation et mon bien-être. Ce travail est le fruit de vos efforts.

A mes chers frères et sœurs.

A mes chers amis

*Qui ont partagé avec moi les bons et les mauvais moments de la vie, les
La douleur est comme l'espoir.*

Pour toute la famille Senegra

Avec mon profond respect et mon affection.

A tous chers à mon cœur

*Et tous ceux qui me connaissent et m'aiment. A chacun d'eux, je dédie
ce fruit de mon travail*

Fatiha

Dédicace

Je remercie tout d'abord, Allah, le tout puissant et clément de m'avoir aidé à réaliser ce travail.

Je dédie ensuite ce fameux travail aux plus exceptionnels qui existent dans le monde

Mes parents, <<Hamza>> et <<Halima>>

Toute ma gratitude pour leur soutien tout au long de mes études Qu'Allah les garde

Je dédie également à tous ceux qui m'aiment et spécialement A ma soeur « Asma » et mon frère Sliman

A mes Grandes Parents A toute ma famille Smain .

A mon encadreur Mme <<Ben cherif Karima>> qui mérite tous mon respect .

à mes chéries amies Sabahe, Khaoula

A TOUTE LA PROMOTION 2021/2022

Enfin, je dédie ce travail à toute personne qui m'a aidé dans la réalisation de ce travail de près ou de loin Sans exception.

LAMIA...

Liste des tableaux

Tableau 1: La composition de chaque pot.....	24
Tableau 2: Résultats des analyses du sol avant la plantation.	38
Tableau 3: Résultats de la teneur en phosphore du sol.	39

Liste des figures

Figure 1: Coupe de mycorhize schématisant la pénétration du champignon dans la racine -.....	9
Figure 2: Structures de champignons mycorhiziens arbusculaires	10
Figure 3: Les différentes formes de phosphore dans le sol	14
Figure 4: Localisation des sites d'etudes (1/36 820cm).....	23
Figure 5: Evolution de la plantation.....	25
Figure 6: Dosage de phosphore.....	29
Figure 7: Dosage des protéines totales.....	30
Figure 8: Dosage de la chlorophylle.....	31
Figure 9: Dosage de la proline.	32
Figure 10: Dosage enzymatique de catalase.....	34
Figure 11: L'ascorbateperoxydase "APX"	35
Figure 12: Résultats de la teneur en phosphore chez la plante (<i>Medicago sativa</i>).	39
Figure 13: Résultats de la teneur en protéine chez la plante (<i>Medicago sativa</i>).....	40
Figure 14: Résultats du dosage de chlorophylle chez la plante (<i>Medicago sativa</i>).	41
Figure 15: Résultats de la teneur en proline chez la plante (<i>Medicago sativa</i>).....	41
Figure 16: Résultats du dosage de la catalase (<i>Medicago sativa</i>).....	41
Figure 17: Résultats de la teneur en l'ApX chez la plante (<i>Medicago sativa</i>).	43

Sommaire

Table des matières

Liste des tableaux	5
Liste des figures	6
Introduction	1
Chapitre 1: La vie en symbiose chez les plantes	
1.1. La vie en symbiose chez les plantes :	5
Chapitre 2: Les mycorhizes	
2.1 Généralité:	9
2.2. Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA):	10
2.3. Rôles des symbioses mycorhiziennes arbusculaires:	10
Chapitre 3: Les bactéries symbiotiques	
3.1 Le rôle des bactéries symbiotiques dans la vie de la plante:	13
Chapitre 4 : Mobilisation du phosphore dans le sol	
4.1. Le phosphore et ses différentes formes dans le sol:	15
4.2. Importance mondiale du phosphore :	16
4.3. La désagrégation:	17
4.4. La solubilisation :	17
4.5. La minéralisation:	18
4.6. L'immobilisation :	18
4.7. La dissolution des phosphates par le CMA:	19
4.8. La dissolution des phosphates par les bactéries:	19
Chapitre 5: Prélèvement du sol de la région d'étude	
5.1. Prélèvement du sol de la région d'étude:	22
5.1.1. Localisation de la zone étude :	22
5.2. Dispositif expérimentale :	24
5.3. Analyses pédologiques :	25
5.3.1. Dosage de phosphore à l'état naturel du sol:	25
5.3.2. Dosage de l'humidité, de la conductivité électrique et du pH des sols:	26

Sommaire

5.3.3. Azote totale:	26
5.3.4. Calcaire total(méthode du Calcimètre Bernard).....	27
5.3.5. Dosage du calcaire actif (méthode Droiunneau):	28
5.4. Paramètres analysés après la plantation :	28
5.4.1. Dosage du phosphore dans le sol :	28
5.4.2. Dosage du phosphore dans les parties aériennes des plantes :	28
5.4.3. Dosage des protéines totales solubles:	30
5.4.4. Dosage de la chlorophylle:	31
5.4.5. Dosage de la proline:	31
5.5. Estimation des activités enzymatiques:	33
5.5.1. La catalase:	33
5.5.2. L'ascorbate peroxydase "APX" :	34
Chapitre 6: Résultats	
6.1. Résultats des analyses pédologiques :	38
6.2. Résultats du dosage de phosphore après la plantation:	38
Chapitre 7 : Discussion	
Conclusion.....	49
Références bibliographiques	51
Annexes	57
Résumé.....	

Introduction

Introduction

La demande mondiale de cultures agricoles continue d'augmenter et la production alimentaire mondiale dépend largement de la gestion agricole intensive. En agriculture conventionnelle, les variétés de cultures à haut rendement, l'irrigation, les pesticides et les engrais sont fréquemment utilisées comme pratiques agricoles courantes pour obtenir des rendements plus élevés. Par exemple, bio et/ou les engrais inorganiques sont utilisés pour fournir des composés de phosphore (P) disponibles aux plantes en complétant les ions phosphate et pour satisfaire rapidement les besoins en nutriments des récoltes. Cependant, soutenir la croissance des plantes et l'optimisation des rendements a soulevé une surutilisation des engrais phosphatés, a augmenté les coûts de production et a exercé des impacts négatifs sur la qualité du sol et milieux environnants; en particulier, l'eutrophisation des eaux de surface (DODD et al., 2010).

En plus de ces impacts environnementaux négatifs, une proportion importante de P les intrants sont rapidement séquestrés par la fixation du P, ou la précipitation par la matrice du sol dans les complexes insolubles, à l'intérieur desquels le phosphore n'est plus directement disponible pour l'assimilation biologique par les cultures, réduisant davantage l'efficacité des engrais. Par conséquent, des efforts ont été déployés pour développer des stratégies alternatives afin d'atteindre des niveaux de phosphore biodisponible dans les sols et d'améliorer son absorption par les plantes (BASIRU et al., 2021). Parmi eux, les programmes de cultures intégrant la sélection de micro-organismes bénéfiques qui établissent des interactions avec les végétaux et ce afin de sélectionner « un holobionte de culture optimisé ». Ces techniques représentent des alternatives prometteuses. La technique d'Agro-intrants qui permet l'exploitation des services écosystémiques du microbiote du sol à l'intérieur d'inoculants microbiens est également rapportée comme une solution naturelle pour favoriser le cycle du P et sa biodisponibilité pour les plantes (DUCOUSSO-DETREZ et al., 2022).

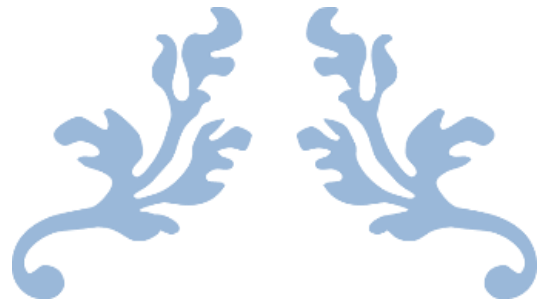
Parmi les facteurs qui augmentent la disponibilité du phosphore et réduisent sa fixation dans le sol: La concentration des engrais phosphatés à proximité de la plante dans une bande étroite, augmentant ainsi la proportion d'engrais phosphaté, qui reste non fixé, et reste facile pour la plante (Hassen, 2022).

Introduction

De plus, les fonctions microbiennes du sol catalysent des processus clés dans le renouvellement et le cycle du P du sol, à partir de divers pools organiques et inorganiques du sol (DODD et al., 2010). En particulier, certains micro-organismes, appelés microorganismes promoteurs de croissance des plantes (PGPM), qui sont identifiés comme stimulants la croissance des plantes via des mécanismes directs et/ou indirects (DUCOUSSO-DETREZ et al., 2022) et ont été proposées comme micro-organismes bénéfiques. Parmi les PGPM, les microbes solubilisants du phosphate (PSM) sont identifiés comme des microbes présentant in vitro la capacité de solubiliser les composés P inorganiques insolubles produisant formes P disponibles (BASIRU et al., 2021).

Plusieurs recherches suggèrent que l'inoculation par des bactéries solubilisant le phosphate (PSB) dans les sols peuvent réduire le taux d'application d'engrais phosphatés de 50 % (DUCOUSSO-DETREZ et al., 2022). Différentes formulations ont été proposées : soient conçues avec une seule souche ou en tant que consortium de diverses souches microbiennes présentant divers facteurs favorisant la croissance des plantes. Néanmoins, bien qu'il existe des preuves de l'efficacité de formulations microbiennes pour la fertilité des sols et la productivité des plantes dans différents systèmes de cultures, leur performance en tant que bio-fertilisants dans les expériences de terrain reste débattue par certains auteurs qui appellent à une évaluation plus approfondie du concept de PSM. De plus, l'impact des inoculants microbiens sur les communautés indigènes dans les applications sur le terrain est parfois interrogé (DUCOUSSO-DETREZ et al., 2022).

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre présente étude, nous avons cherché à évaluer l'impact de microorganismes symbiotique sur la dissolution des phosphates d'un sol de la région de Djelfa. En effet, un consortium de champignons mycorhiziens arbusculaires native de la même région avec/ou sans collaboration avec une souche de Rhizobium également native ont été testé sur le sol de la région de oued Ezzayna-Djelfa afin de tester leur efficacité dans la dislocation du phosphore et ce sur une culture de plante fourragère : *Medicago sativa*.



PARTIE1:

Revue bibliographique



Chapitre 1: La vie en symbiose chez les plantes

1.1. La vie en symbiose chez les plantes :

En examinant la vie des végétaux supérieurs, nous rencontrons de la compétition, du parasitisme et de la prédation. Mais en allons au-delà de cette perception primaire, nous allons constater l'existence de relations harmonieuses chez les plantes. Des relations essentiellement établis avec des microorganismes symbiotiques. Cette forme de vie intéresse 90% des végétaux. Au cours des dernières années, une multitude de travaux ont clairement démontré l'intérêt scientifique et pratique de ces symbioses pour l'ensemble des végétaux (FORTIN et al. 2008). Il s'agit d'une association durable entre deux ou plusieurs êtres vivants hétérospécifiques et dont chacun tire bénéfice. Les symbiotes s'aident mutuellement à se nourrir, se protéger ou se reproduire. Au niveau des sols, les sites privilégiés de multiplication des microorganismes sont la rhizosphère et la mycorrhizosphère, zones très riches en nutriments exsudés par les racines et/ou par le mycélium (sucres, acides aminés, acides gras, facteurs de croissance...) (BONFANTE et ANCA., 2009).

Les symbioses plantes– microbes, une longue coévolution. Pendant des milliards d'années, la vie est restée confinée aux étendues aquatiques, océans, mers et lacs. Il y a 450 millions d'années, les plantes ont colonisé les terres émergées, entraînant une métamorphose profonde de notre planète et l'évolution d'écosystèmes contenant une biodiversité animale, microbienne et végétale unique. Il est admis que cet événement de colonisation a été possible entre autre grâce à l'interaction mutuellement bénéfique de ces premières plantes avec certains champignons qui augmentent les capacités de collecte de nutriments et d'eau dans les sols. Aujourd'hui, si cette symbiose persiste chez 80% des plantes qui nous entourent, elle n'est plus la seule ! En effet, de nombreuses associations symbiotiques ont évolué chez des plantes aussi variées que le soja et la vanille (PIERRE, 2020).

Plusieurs travaux cherchent à identifier les secrets des symbioses racinaires, leurs fonctionnements et leur évolution à travers les siècles. Les résultats communs, expliquent que le phénomène d'interaction entre organismes vivants d'une intimité rare : le symbiote microbien est hébergé à l'intérieur même des cellules végétales. D'autre part, ces symbioses présentent des fonctions écologiques indispensables et sont présentes dans la quasi-totalité des écosystèmes existants. Comprendre ces symbioses et les mécanismes sous-jacents offrent la possibilité de mieux les exploiter en agronomie, ce qui faciliterait la transition vers une agriculture durable moins dépendante en intrants.

Depuis plusieurs décennies, l'étude de deux symbioses végétales a permis l'identification de plusieurs gènes de plantes impliqués dans la reconnaissance des symbiontes et leur «hébergement» à l'intérieur de la cellule végétales. Les autres symbioses « intracellulaires » avaient été jusqu'à aujourd'hui très peu étudiées (PIERRE, 2020).

Le concept de symbiose est assez récent, datant du XIX siècle. Il reflète l'association durable entre deux organismes appartenant à deux règnes différents. Cette association relate la pénétration des tissus d'un petit organisme dans les cellules d'un organisme plus grand .une association effective jusqu'à ce que l'un des deux organismes meure et mutualiste avec un bénéfice réciproque par l'échange de ressources complémentaires. C'est par cette dernière caractéristique que la symbiose diffère du parasitisme : alors que le parasite (comme beaucoup d'autres champignons qui causent des maladies aux plantes) exploite son hôte sans contrepartie et finit par l'épuiser et le faire mourir, le symbiote au contraire participe de façon positive au développement de la plante; la symbiose est en quelque sorte un double parasitisme équilibré et donc stabilisé. Evolutivement, la symbiose crée de nouveaux organismes aux potentialités chimériques dépassant souvent la simple somme des capacités de leurs constituants. La symbiose est donc un mécanisme d'évolution, créatrice de groupes entiers dans l'histoire des eucaryotes. Des symbioses sont apparues à tous les moments de l'évolution biologique, comme en témoigne l'ancienneté de nombreuses symbioses et leur persistance jusqu'à l'époque actuelle démontrant leur valeur adaptative.

Parmi les symbioses les plus anciennement étudié celle des lichens, présents dans tous les habitats terrestres avec une grande diversité de formes. Un lichen se présente le plus souvent comme une croûte recouvrant une surface et constituée d'un champignon dont le réseau filamenteux dense enserme les cellules isolées d'une algue verte unicellulaire. Les lichens sont visibles partout autour de nous : sur les murs, les trottoirs, les troncs des arbres, les toits et les rochers. Le partenaire fongique du lichen assure la fixation sur le substrat, son exploration par croissance marginale et son exploitation en mobilisant l'eau et les minéraux, tout en assurant la protection de l'algue contre la dessiccation. En contrepartie, l'algue fournit au champignon une partie des sucres qu'elle fabrique par photosynthèse (puisque c'est une plante verte), ce que le champignon ne peut faire étant dépourvu de chlorophylle (GARBY, 2015).

Les recherches conduites au cours des cinquante dernières années, ont permis une meilleure compréhension des relations symbiotiques unissant les végétaux à leurs associés microbiens du sol. Cette notion devenue essentielle à la compréhension et l'utilisation des milieux naturels, devient incontournable pour assurer leur conservation. De plus cette perception des symbioses végétales se traduit par des concepts et des technologies nouvelles permettant d'envisager une culture des végétaux plus respectueuse de l'environnement. Sans y être limitées, la connaissance et l'utilisation de ces symbioses se retrouvent à la base même de l'agriculture durable (FORTIN et al., 2008).

Chapitre 2: Les mycorhizes

2.1 Généralité:

Une mycorhize, c'est une association symbiotique entre une plante (arbre, arbuste, plante herbacée, vivace ou annuelle, à fleurs ou non, sauvage ou cultivée, en pot ou en plein terre...) et un champignon, susceptible de persister durant plusieurs années. Le mot "symbiotique" a toute son importance : grâce aux mycorhizes, la plante hôte et le champignon mycorhizien se rendent mutuellement service. La symbiose ; est en effet une relation de type "gagnant-gagnant", contrairement au parasitisme (CLEMENTINE, 2014).

Il existe différents types de mycorhizes en fonction de la pénétration du mycélium dans le système racinaire : ectomycorhizes lorsque le mycélium pénètre entre les cellules du cortex racinaire et endomycorhizes lorsque celui-ci pénètre à l'intérieur des cellules racinaires (Figure 1).

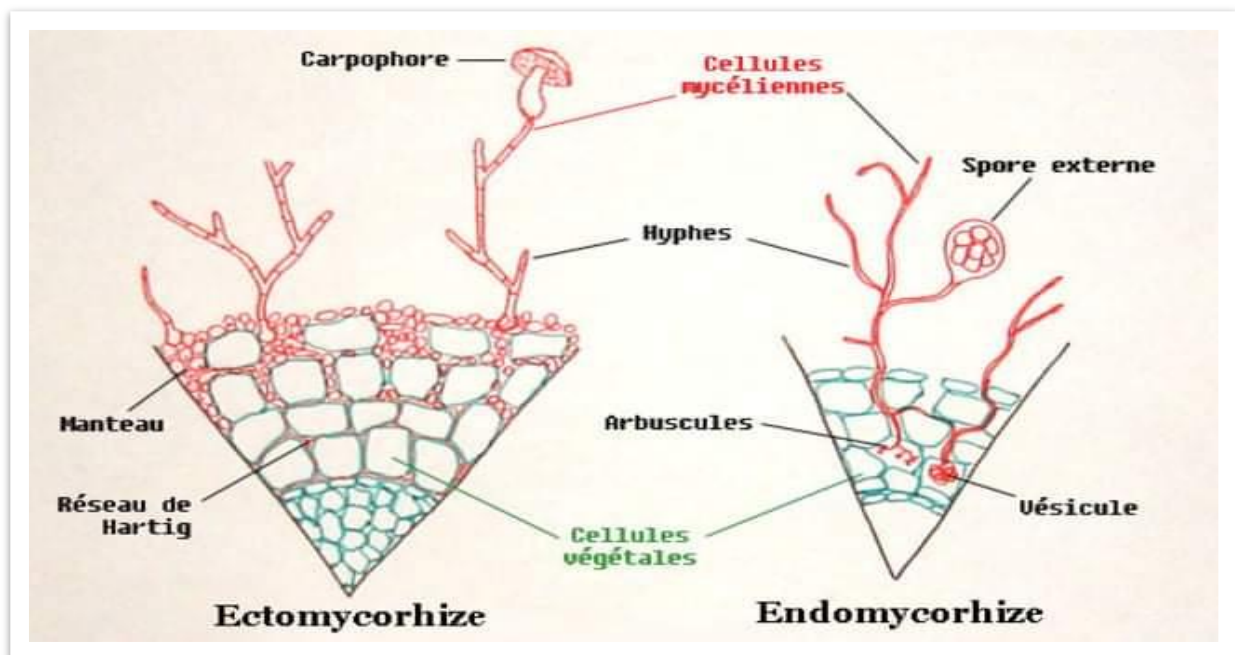


Figure 1: Coupe de mycorhize schématisant la pénétration du champignon dans la racine -
(Nill-the- Frogg / wikimedia.org)

2.2. Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA):

Les espèces mycorhiziennes arbusculaires produisent de grandes spores, au repos, pouvant atteindre un diamètre de 0.2 mm. Certains CMA possèdent des spores agglomérées dans des sporo-capsules. La morphologie des spores est à la base de leur identification, compte tenu du fait que le champignon lui-même ne peut pas être cultivé. Les CMA forment deux structures principales qui les distinguent des mycorhizes, des arbuscules et des vésicules. Les arbuscules ainsi que les vésicules sont des structures servant de réserve, situées dans ou entre les cellules. Ces structures sont considérées pour le diagnostic de la symbiose des CMA.

Les arbuscules sont des structures intracellulaires (on les trouve toujours à l'intérieur des cellules) caractéristiques, uniques chez les CMA. Ils sont constitués d'hyphes hautement ramifiés qui développent entre la paroi cellulaire et la membrane plasmique des cellules et sont responsables de l'échange de nutriments entre les symbiotes. Les vésicules sont des structures globuleuses contenant des lipides et des granules de glycogène qui servent d'organe de réserve pour le champignon. Ils sont situés à l'intérieur et entre les cellules des racines (SHEENA, 2018).

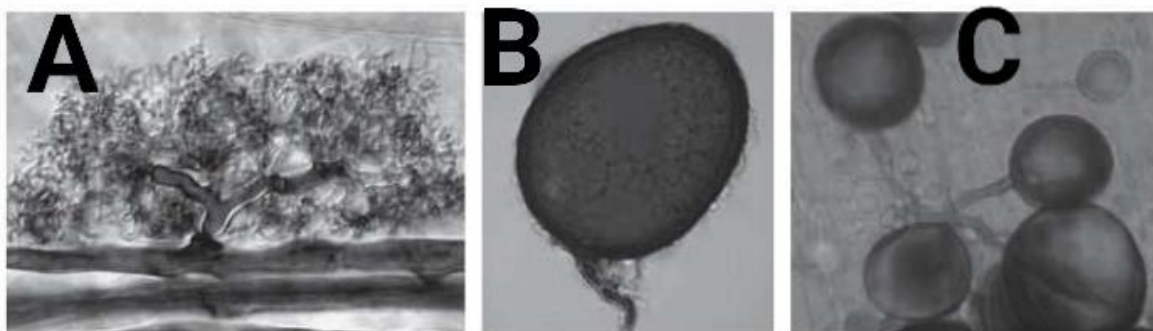


Figure 2: Structures de champignons mycorhiziens arbusculaires. (a) Arbuscule, (b) spores de *Glomus* sp. et (c) des vésicules dans les racines de capirona (*Calycophyllum spruceanum*).

2.3. Rôles des symbioses mycorhiziennes arbusculaires:

Les champignons mycorhiziens arbusculaires tiennent leur nom de leur structure caractéristique, appelée arbuscule, située à l'intérieur des cellules des racines. Les arbuscules sont la structure d'échange de nutriments entre la plante et le champignon, et offrent une surface de contact importante entre les deux partenaires. Les hyphes peuvent s'étendre d'une racine à l'autre sur une même plante, mais aussi des racines d'une plante vers celles d'une

autre plante. Les hyphes forment un réseau dans le sol qui agit comme une extension du système racinaire des plantes augmentant ainsi le pouvoir absorbant de ces dernières. Le réseau d'hyphes peut atteindre des dimensions considérables, supérieures à 106 km/ha (MILLER et JASTROW., 1992), où plusieurs dizaines de mètres par gramme de sol (LEAKE et al. 2004). Il donne accès aux éléments nutritifs (N, P, K, Mg) même si leur teneur assimilable dans la solution du sol est très faible. Le réseau d'hyphes a la capacité de s'étendre au-delà de la zone d'épuisement du phosphore qui se développe rapidement autour des racines. La production par les hyphes d'exoenzymes lytiques (protéases, amylases, ARNases, phosphatases) hydrolysent et scindent les macromolécules et permettent l'absorption des produits de dégradation. Ils permettent aussi de solubiliser des ions adsorbés dans la phase solide du sol, comme le phosphore ou le potassium. D'autres bénéfiques ont été attribués à l'association plante-mycorhize tel que: l'augmentation de la tolérance de la plante à la sécheresse, à la salinité et aux métaux lourds, l'augmentation de la défense des plantes contre les agents pathogènes (WHIPPS, 2004). En retour, le végétal fournit le carbone nécessaire, sous forme de sucres issus de la photosynthèse, à son partenaire fongique hétérotrophe (SMITH et READ., 1997). Le réseau d'hyphes qui prolifère des racines des plantes vers le sol joue un rôle fondamental dans la formation et la stabilisation des agrégats du sol avec la production d'une glycoprotéine appelée glomaline (WRIGHT et UPADHYAYA 1998; WRIGHT et ANDERSON 2000; RILLING et al. 2002). L'une des fonctions majeures des mycorhizes est de permettre aux plantes de s'ajuster aux conditions locales du sol et de s'acclimater (LERAT et al. 2003).

L'absorption de l'eau est la seconde fonction des mycorhizes. L'augmentation de la surface d'absorption permet l'accès à l'eau dans les plus petits interstices du sol et ainsi de protéger la plante des stress hydriques. L'absorption des éléments minéraux est la principale fonction des mycorhizes, notamment le phosphore, le cuivre, le calcium, le potassium, le magnésium, le zinc, etc. d'un autre côté nous avons également l'agrégation des sols, les champignons mycorhiziens arbusculaires favorisent par la croissance continue de leur mycélium de quelques millimètres par jour qui contribue à agglomérer les particules du sol entre elles et à renforcer la cohésion de l'ensemble structurale du sol (OLIVER, 2019).

Chapitre 3: Les bactéries symbiotiques

Les bactéries symbiotiques représentent la symbiose la plus abondante dans la nature et la plus étudiée. C'est une relation symbiotique entre des bactéries et des plantes (surtout les légumineuses), réalisant la fixation de l'azote atmosphérique (réduction du diazote gazeux N_2 en azote organique). Cette symbiose se fait dans des nodules qui se forment dans les racines au contact de certaines espèces de bactéries, qu'elles renferment. Dans ces conditions, les bactéries sont capables de réaliser cette réduction d'azote atmosphérique et amender par la suite le sol et l'enrichir en cet élément minéral. Bien avant que le mécanisme n'en soit compris, les agriculteurs connaissaient le pouvoir des légumineuses d'amender les terres s'appauvries en azote (JANINE, 2019).

3.1 Le rôle des bactéries symbiotiques dans la vie de la plante:

Les bactéries bénéfiques effectuent plusieurs tâches pour aider les plantes, la première de ces tâches est qu'elles agissent comme des décomposeurs qui consomment des composés carbonés simples, comme la décomposition des sécrétions des racines et des déchets végétaux, la conversion de l'énergie de la matière organique en substances utiles pour les organismes vivants dans le sol, et ils réservent les nutriments dans leurs cellules afin qu'ils ne soient pas perdus. Par exemple, l'azote est conservé dans la zone racinaire et les bactéries aident au processus de fixation de l'azote dans les légumineuses, établissant une relation symbiotique avec leurs racines et convertissant l'azote en une forme dont les plantes peuvent bénéficier (ABDEL QADER, 2022).

Chapitre 4 : Mobilisation du phosphore dans le sol

4.1. Le phosphore et ses différentes formes dans le sol:

Le phosphore (P) est un élément nutritif essentiel à la nutrition minérale des plantes au même titre que l'azote et le potassium. Il est toutefois un élément nutritif critique des plantes à cause de sa faible concentration dans le sol (teneur moyenne de 600 ppm de P total) et de sa faible solubilité (moyenne de 0,05 mg P de la solution du sol). Le phosphore existe dans le sol sous les formes inorganique et organique (Figure 3). Les formes inorganiques sont associées à des composés amorphes ou cristallins d'aluminium et de fer dans les sols acides et à des composés de calcium dans les sols alcalins. Les formes de P organique sont associées à la matière organique du sol. Essentiel pour les plantes, il est appliqué sur le sol sous forme d'engrais phosphatés. Cependant, une grande partie du phosphate inorganique soluble qui est appliqué au sol comme engrais chimique est immobilisée rapidement et devient indisponible pour les plantes (MALBOOBI *et al.*, 2009).

Des échanges continus ont lieu entre les différentes formes de phosphore dans le sol. Les plantes absorbent du phosphore dissous dans la solution du sol. Ces prélèvements de phosphore par les plantes diminuent la biodisponibilité du phosphore dissous dans la solution du sol. Cette réduction de phosphore est accentuée par sa fixation sur les fines particules minérales du sol et par son utilisation dans les activités microbiennes. La baisse de la concentration du phosphore dans la solution du sol déclenche le relâchement du phosphore de ses formes minérales au profit de la solution du sol. En outre, la minéralisation des résidus végétaux sous l'effet de l'activité microbienne augmente la teneur du sol en phosphore assimilable (phosphore labile et phosphore dissous). Toutes les formes de phosphore peuvent aussi être modifiées par l'apport d'engrais phosphatés ou de fumiers. Les processus d'érosion du sol et de lessivage entraînent la diminution de toutes les formes de phosphore dans le sol (CHARLES, 2014).

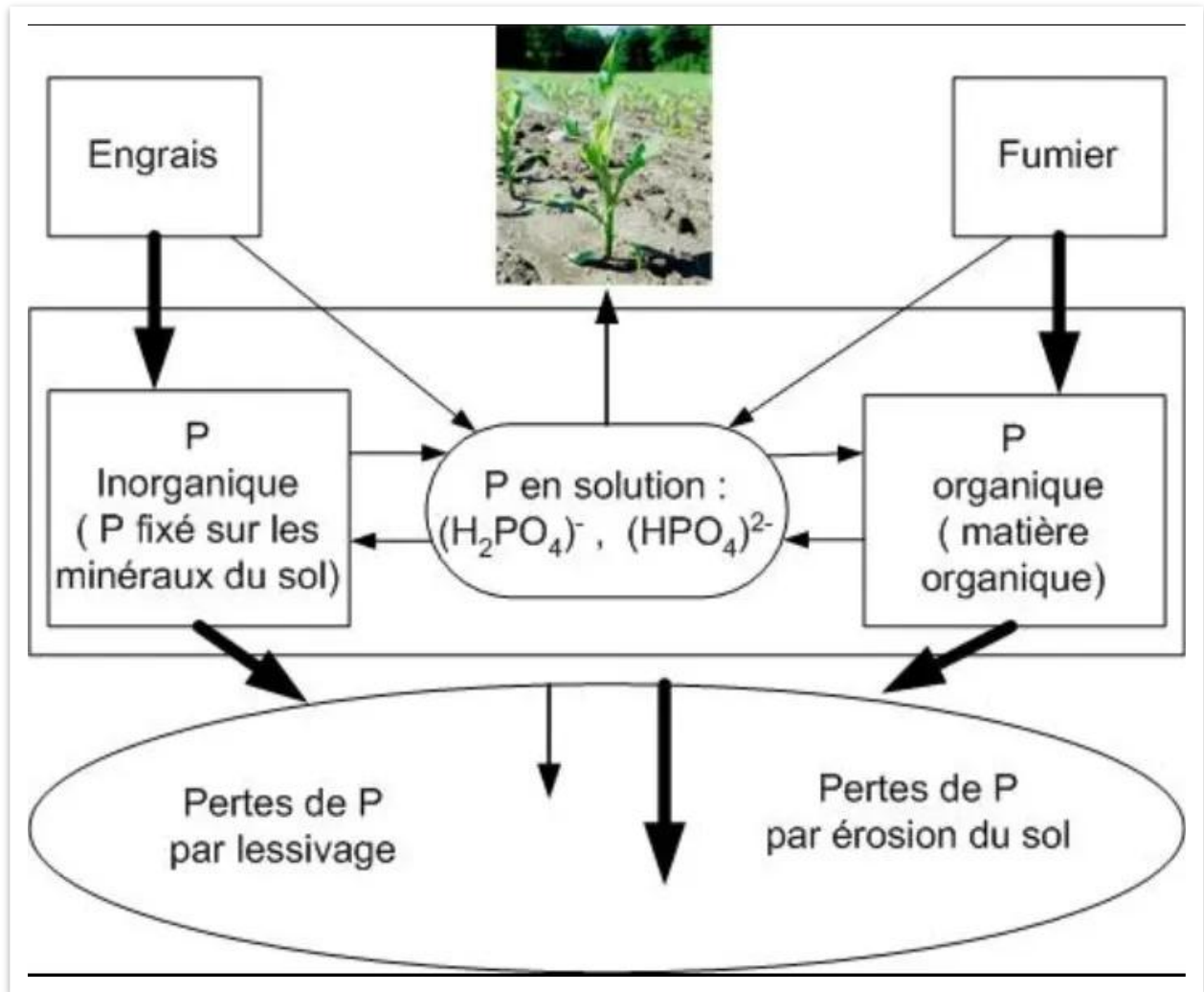


Figure 3: Les différentes formes de phosphore dans le sol.

4.2. Importance mondiale du phosphore :

Le phosphore est le régulateur de croissance des plantes au niveau des racines, des tiges et des fleurs et qui agit au niveau de toutes les cellules de la plante. En effet, il intervient dans la photosynthèse et la synthèse des enzymes et des protéines. Il joue aussi un rôle important dans la division des cellules, la synthèse et le transport des sucres et des amidons. Par ailleurs, le phosphore, de par les molécules énergétiques dont il est l'élément principale, est un élément capital de la phase de reproduction des plantes. Ainsi, une redistribution du phosphore est observée vers les bourgeons lors de la floraison (mise à fleur). Sans oublier que le phosphore est l'élément essentiel durant les premiers stades de croissances d'une plante (ALEBNN, 2017).

4.3. La désagrégation:

Dans la nature, certaines roches phosphatées s'altèrent suite à de nombreux processus écologiques. Les processus d'altération sont classés en deux principales catégories : La désagrégation mécanique et chimique. Dans la désagrégation mécanique, des procédés physiques (incluant l'expansion thermique, la pression, l'action hydraulique, la formation de cristaux de sel, le gel et le dégel...) peuvent causer une détérioration ou encore une fragmentation du matériel rocheux sans modifier sa composition chimique. En revanche, la désagrégation chimique (incluant divers produits chimiques) cause l'altération de la roche phosphatée en modifiant la structure chimique des minéraux à partir desquels la roche phosphatée est faite. Le processus d'altération chimique comprend la dissolution, l'hydrolyse, l'hydratation et l'oxydoréduction (MACKEY et PAYTAN., 2009).

4.4. La solubilisation :

Le phosphore (P) est un macronutriment essentiel pour la croissance et le développement des plantes. En cas de carence, le P devient l'élément nutritif limitant de la croissance végétale. Même dans les sols riches en phosphate, la plus grande quantité de cet élément n'est pas forcément sous forme assimilable (EZAWA *et al.*., 2002). En agriculture, le manque du phosphate est généralement compensé par l'ajout d'engrais chimiques phosphatés au sol. Cependant, il est rapidement immobilisé et devient donc inutile pour les plantes (MARA *et al.*., 2014). De plus, le coût élevé des engrais, l'accumulation des contaminants phosphatés dans le produit agricole, les sous-produits de l'agroalimentaire et l'atmosphère, mais aussi l'accumulation de métaux lourds en trace (présents dans l'engrais) dans le sol ont obligé à rechercher de meilleurs outils pour réduire l'utilisation de tels engrais chimiques (SONG *et al.*., 2008 ; SHARMA *et al.*., 2013). Parmi ces alternatives, l'utilisation de bactéries solubilisatrices du phosphates (PSB) est l'une des options les plus écologiques pour éviter ou minimiser l'utilisation exagérée des produits chimiques en agriculture (VIJAYALAKSHMI *et al.*., 2016). Les PSB constituent un groupe de (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) capables de transformer les formes de phosphate complexes dans les sols vers des formes assimilables par les végétaux. Cette propriété est largement utilisée comme trait important pour l'isolement et la sélection de PGPR

efficaces et ce potentiel peut faire des « PSB » d'excellents agents de biofertilisation (VESSEY, 2003 ; SHARMA et al., 2007).

4.5. La minéralisation:

La minéralisation du phosphore détermine le passage du phosphore d'un état organique à une forme inorganique en raison de la décomposition bactérienne, par minéralisation. Ce processus consiste à libérer du P, c'est-à-dire le rendre assimilable afin qu'il soit utilisé par les cultures et les plantes. La minéralisation est un processus par lequel le phosphore organique du sol est converti en phosphore inorganique à l'aide de microbes du sol. Lors de la fixation, les formes inorganiques du phosphore sont reconverties en formes organiques et absorbées par les cellules vivantes des microbes du sol.

Le phosphore circule dans les roches, l'eau, le sol, les sédiments et les êtres vivants. C'est le cycle du phosphore. Dans le sol, les formes organiques de phosphate peuvent être fournies aux plantes par des bactéries qui décomposent la matière organique en formes inorganiques de phosphore. Ce processus est connu sous le nom de minéralisation.

La fixation du phosphore (P) se produit lorsqu'il est appliqué sur le sol, quelle que soit sa composition chimique. La fixation se produit lorsque le phosphore réagit avec d'autres minéraux pour former des composés insolubles et devient indisponible pour les cultures (JEAN, 2009).

4.6. L'immobilisation :

Lors du processus de l'immobilisation, le P labile est séquestré et retiré de l'environnement pour une période de temps. Les procédés d'immobilisation peuvent être regroupés en deux catégories: La première catégorie, l'immobilisation transitoire ou l'assimilation cellulaire, comprend tous les processus de séquestration du P dans les cellules vivantes microbiennes et est rapidement réversible à la mort cellulaire. La deuxième catégorie appelée la formation de minéraux phosphatés, englobe les processus de minéralisation influencé par l'activité microbienne qui génèrent des minéraux contenant du P : il s'agit de la phosphogénèse (MACKKEY et PAYTAN., 2009).

Les bactéries, champignons, micro-algues, protozoaires représentent la majorité de la biomasse vivante sur Terre. La plupart d'entre eux sont organisés en biofilms et sont très utiles à la préservation de l'équilibre de notre planète (TAKTEK,2015).

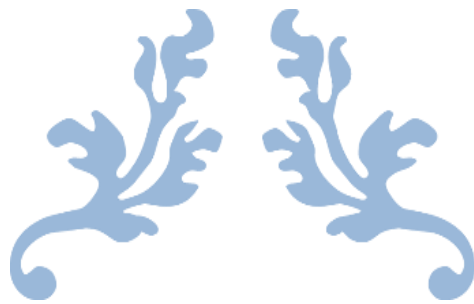
4.7. La dissolution des phosphates par le CMA:

La mycorhize a un rôle important et significatif dans la fourniture aux plantes de macronutriments tels que le phosphore, le soufre et certains microéléments tels que le cuivre et le zinc.

L'absorption du phosphore par le champignon est réalisée par plusieurs mécanismes, dont la sécrétion de l'enzyme "Phosphatase" par les hyphes du champignon, qui travaille à dissoudre le phosphore organique et à le convertir en formes prêtes à être absorbées par la plante, ainsi que la sécrétion d'acides carboxyliques qui agissent pour retenir les éléments calcium, fer et aluminium en laissant l'élément phosphoreux dissous dans la solution du sol. Les champignons mycorhiziens augmentent également l'activité des bactéries dissolvant les phosphates en raison de la relation mutuellement bénéfique, ce qui à son tour conduit à une augmentation de la concentration du phosphore soluble dans la solution du sol (BADAOU, 2020).

4.8. La dissolution des phosphates par les bactéries:

Les bactéries solubilisatrices du phosphate (BSP) sont des bactéries bénéfiques capables d'assimiler le phosphore inorganique à partir de composés insolubles. La capacité de P-solubilisation des micros organismes de la rhizosphère est considérée comme l'un des traits les plus importants associés à la nutrition des phosphates végétaux. Il est généralement admis que le mécanisme de solubilisation du phosphate minéral par les souches de BSP est associé à la libération d'acides organiques aux poids moléculaires légers, à travers lesquels leurs groupes hydroxyle et carboxyle chélatent les cations liés au phosphate, le convertissant ainsi en formes solubles. Les BSP ont été introduits dans la communauté agricole en tant que biofertilisants phosphatés.



PARTIE2:

Démarches expérimentales



Chapitre 5: Prélèvement du sol de la région d'étude

Le but de notre présente étude est d'évaluer l'efficacité des symbioses mycorhiziennes, symbiose rhizobienne et l'association des deux dans la dissolution des phosphores sur une culture de luzerne sur un sol historiquement pollué. Le sol prélevé de Oued Ezzaynaa été utilisé comme substrat de culture en lui additionnant 20% de sable stérilisé afin d'alléger la cohérence de la structure du sol. Le sol prélevé est utilisé sans stérilisation afin de reproduire les conditions similaires à celle d'un environnement naturel.

5.1. Prélèvement du sol de la région d'étude:

5.1.1. Localisation de la zone étude :

Les échantillons de sol ont été prélevé de la zone d'Oued Ezzayna, qui est historiquement connu comme une zone de collecte industrielle ce qui la rend polluer par les métaux lourds. Cette région est située dans la commune de Djelfa.

La région de Ain Ezzyna se trouve à 7 Km au nord de la ville de Djelfa (figure 3), elle couvre une superficie de 72Ha.elle est limitée : - Au nord par : Ourrou ; - A l'est par : Chbeika ; - A l'ouest par : Nagazia et Elargoub Lahmer et au sud par : Ain Eloukarif (CHAOUFA et LAHRECH 2010).

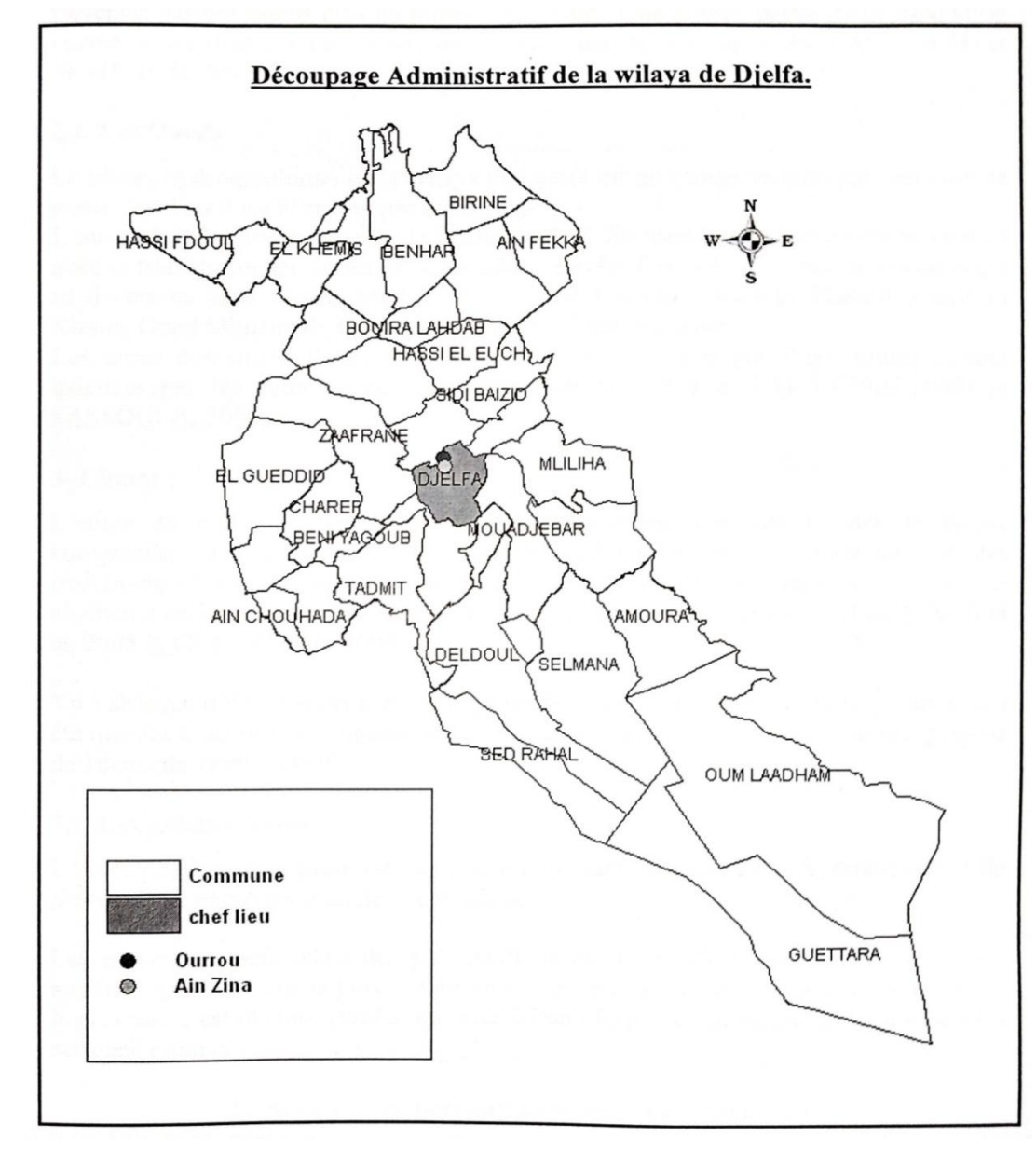


Figure 4: Localisation des sites d'études (1/36 820cm) (**CHAOUFA et LAHRECH 2010**)_

Les prélèvements ont été réalisés selon les coordonnées suivant :

34° 43' N ; 3° 12' E

_Altitude de la région:1045 m.

_Date d'échantillonnage:18.12.2021

_Après avoir déterminé le sol à étudier, l'excavation a été effectuée à une profondeur de 30 cm, et elle a été placée dans des sacs.

5.2. Dispositif expérimentale :

Le sol a été divisé sur 16 pots représenté dans le tableau 1

Tableau 1: La composition de chaque pot

Nombre des pots	4	2	2	2	2	2	2
Traitement	Témoin	Bactéries avec NPK	Bactéries sans NPK	CMA avec NPK	CMA sans NPK	Bactéries plus CMA avec NPK	Bactéries plus CMA sans NPK

-Préparation des pots:

- Stérilisation de 2 kg de sable à étuve à 180°C pendant 2h.
- Mélanger avec 4kg de sol échantionnée de la zone d'étude.
- Répartir le mélange uniformément sur 16 pots.
- Mettre 14g de NPK dans les pots
- Ajout de champignons CMA et de la solution contenant des bactéries dans les 6 pots
.Planter les graines de luzerne (*Medicago sativa*) dans les pots (environ 40 grains/pot).

- Evolution de la plantation :

Après avoir planté une courte période de temps, nous remarquons la croissance de la plante progressivement et de plus en plus, comme le montrent les figures suivantes :



Figure 5: Evolution de la plantation

5.3. Analyses pédologiques :

5.3.1. Dosage de phosphore à l'état naturel du sol:

La méthode de dosage de phosphore que nous avons utilisée est la méthode colorimétrique décrite par TAUSKY et SHORR (1963)

_ Le dosage du phosphore a été réalisé sur deux traitements du sol.

_ 0.5 g de terre a été prélevé sur chacun des pots.

_ Chaque échantillon a été broyé séparément dans un mortier pour obtenir un sol fin.

_ 0.5 g de terre concassée a été mélangé avec 25 ml d'eau distillée, et laissé pendant 24 heures.

_ La solution du sol est versée dans des tubes et le tout centrifugé pendant 10 minutes.

_ Récupérer la surnageant et placé dans un autre tube recouvert d'aluminium 1ml d'extrait, 6 ml HCl et 1ml du réactif sulfomolybdique.

_ passage en lecture par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 650nm.

La teneur en phosphore est calculée selon la règle de 3 établie à partir de la courbe d'étalonnage : Pour une absorbance de 0.29 nous avons 1.71g/kg de phosphate.

5.3.2. Dosage de l'humidité, de la conductivité électrique et du pH des sols:

L'humidité a été mesurée directement par un Spectrum.

La conductivité électrique et le pH ont été évaluée selon la méthode de l'extrait au 1/5^{ème}, dans le quel 2g de terre tamisés à 2 mm de diamètre. 8 ml d'eau bidistillée sont ajoutés au sol de façon à obtenir un extrait au 1/5. L'extrait obtenu a été placé dans un agitateur pendant une heure. Puis transférer dans la centrifugeuse pendant 3 minutes à vitesse maximale. Le surnageant est acheminé vers le dispositif de conductivité électrique et la lecture se fait directement sur l'écran. Puis le surnageant est transféré dans un pH-mètre étalonné et la lecture se fait directement.

5.3.3. Azote totale:

Le principe de cet expérience est qu'à l'ébullition l'acide sulfurique concentré minéralise quantitativement l'azote d'un composé organique en ammonium. La solution sulfurique est rendue alors fortement alcaline et l'ammoniac est chassé par distillation recueille dans une solution d'acide borique, puis dosé en retour par une solution d'acide sulfurique (chloridrique) de titre connus.

*Dans une verrerie de 250ml mettre:

- 10g de sol terre fine (tamis 0.2mm)
- Ajouter 10 g K_2SO_4 , 1g $CuSO_4$, 5g H_2O , 0.18g Se
- 25 ml H_2SO_4 concentré.
- Attaquer sous hotte à petit feu au début.
- Puis plus fortement jusqu'à ébullition, favoriser la décoloration.
- Après décoloration, continuer l'ébullition pendant 1 heure.
- Retirer et laisser refroidir.

Dans 250 ml de la solution d'acide borique (4%), ajouter 3 à 4 gouttes d'indicateur de Tashiro. Par la suite, plonger l'extrémité du tube du réfrigérant dans cette solution.

-ouvrir le circuit de refroidissement.

_(le dégagement de NH_3 commence à froid).

- Distilla environ 150 ml, la fin de distillation d'ammoniac.

-Dosage:

_Retirer l'erlenmeyer

_Ajouter deux gouttes d'indicateur de Tashiro -Titrer par de l'acide sulfurique (N/25) (HCL) jusqu'à une couleur rose pâle persistant au moins 15 secondes.

Soit T ml le volume d'acide verse.

T= nombre de ml de H₂SO₄ (échantillon)

B=.....(blanc)

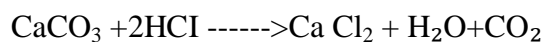
N= normalité d'acide

S= poids de l'échantillon (T-B) x NX 1.4/ S

Une Analyse complète s'aura faite en utilisant tous les réactifs, mais sans la mettre à analyser, pour déterminer le volume d'acide titré neutraliser par les traces d'azote éventuellement présent dans ces réactifs.

5.3.4. Calcaire total(méthode du Calcimètre Bernard).

Le dosage de calcaire total est fondé sur la réaction suivante :



-Mode opératoire:

-Etalonnage de l'appareil

-Introduire 0.300g de CaCO₃ pur et sec au fond d'un erlenmeyer et mouille par quelques gouttes d'H₂O distillée.

-Mettre 5 ml d'HCl dans le petit tube à essai et l'introduire avec précaution dans l'erlenmeyer. Boucher convenablement l'erlenmeyer.

-Ajuster la position de l'ampoule mobile jusqu'à ce que le niveau du liquide coloré s'ajuste avec celui de l'ampoule mobile.

-Agiter calmement l'erlenmeyer pour favoriser la réaction. Le CO₂ se dégage et comprime le niveau du liquide dans la colonne.

-Abaisser l'ampoule mobile pour suivre la dérivation dans la colonne.

La réaction terminée (fin du bouillonnement).

-Ajuster les niveaux et noter le volume V en ml de CO₂ dégagé.

-Dosage:

Opérer de la même façon en remplaçant le CaCO₃, pur, par 1g de terre soit "v" le volume de CO₂ dégagé".

-Calcule:

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{v \cdot P}{V \cdot p} \times 100$$

v: volume de CO₂ produit par échantillon dans le sol.

V= volume de CO₂ produit par le CaCO₃ pur.

P=Poids de CaCO₃ pur en g.

p=poids de la prise de terre en gramme.

5.3.5. Dosage du calcaire actif (méthode Droijunneau):

Le calcaire actif est dosé afin de permettre l'utilisation des propriétés du dosage de Ca^{++} de se combiner aux C_2O_4 pour précipiter sous forme CaC_2O_4 . L'oxalate en excédent est dosé par le permanganate KMnO_4 en milieu acide.

-Extraction

-Agiter pendant 2 heures 2,5 g de terre tamisée à 2 mm avec à 250 ml $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0.2N.

-Filtrer sur filtre propres et assez fins pour ne pas laisser passer le précipité. Eliminer les premières fractions du filtrat.

-Dosage de la solution du sol :

_ Prendre à l'aide d'une pipette, 20 ml de cette solution et les verser dans une fiole conique.

_ Ajouter 20 ml d'eau distillée, 20 ml H_2SO_4 concentrée.

_ Chauffer sur platine chauffante, sans dépasser 60 à 70°C

_ Titrer à chaud avec KMnO_4 , 0,2N dans une burette. Le KMnO_4 se colore, la réaction est arrêtée lorsque la coloration rose persiste pendant 40 à 50 secondes.

-Noter le volume v ml de KMnO_4 .

5.4. Paramètres analysés après la plantation :

5.4.1. Dosage du phosphore dans le sol :

Après 4 mois de culture, la teneur du phosphore dans le sol a été évalué par colorimétrie (TAUSKY et SHORR, 1963) pour les sols avec les 7 traitements différents.

5.4.2. Dosage du phosphore dans les parties aériennes des plantes :

Le phosphore dans les parties aériennes de la Luzerne est évalué selon la méthode colorimétrique de TAUSKY et SHORR (1963). La minéralisation est la première étape réalisée, en utilisant l'acide chlorhydrique (HCl) (1N) afin de dissoudre toute la matière organique : 0.05 g de chacune des poudres, mélangées avec 2.5 ml d'HCl dans le broyeur. La solution obtenue est centrifugée pendant 3 min à 3000 tours/min, suivie d'une filtration du surnageant. Après filtration, à chaque échantillon une dose de 0.25 ml du réactif sulfomolybdique et 0.25 ml d'eau distillée sont ajoutées avant le passage en spectrophotométrie à 650 nm.

La teneur en phosphore est calculée selon la règle de 3 établis en fonction de la courbe d'étalonnage. Pour une absorbance de 0.118 nous avons 3.45g/kg de phosphate.

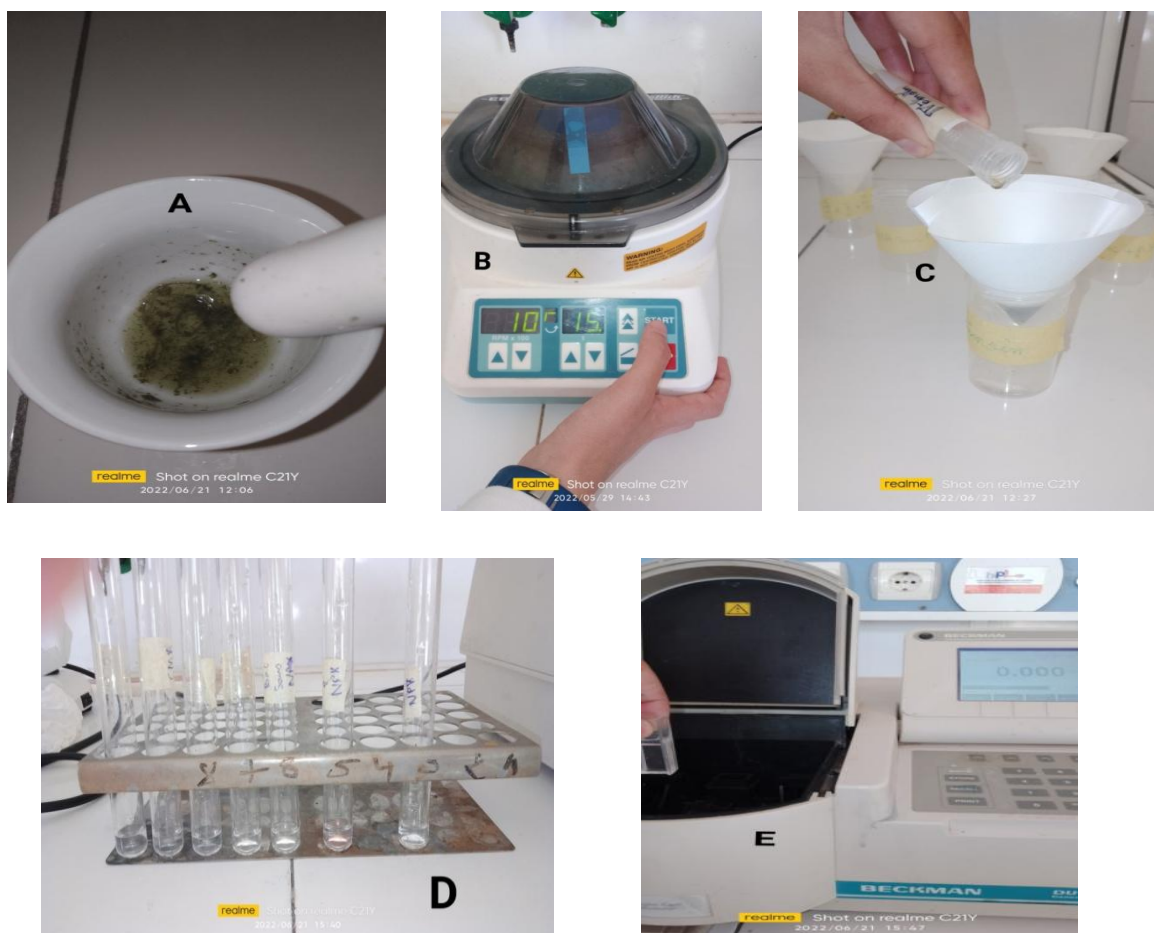


Figure 6: Dosage de phosphore **A:** broyage à froid avec 2.5ml de l'HCl. **B:** centrifugation. **C:** filtration. **D:** Ajouter 0,25 ml du réactif sulfomolybdique et 0.25 ml d'eau distillée. **E:** passage en spectrophotomètre à 650nm.

5.4.3. Dosage des protéines totales solubles:

Le dosage des protéines se fait selon la méthode de Bradford (1976).

a. Extraction

Prendre 0.2 g de matière végétale avec 2 ml de tampon d'extraction : tampon phosphate 0.06 M PH 7, l'extraction se fait à froid (mortier dans la glace pilée) puis centrifugation à 8000 tours pendant 15 min.

b. Dosage

Prendre 200 µl d'échantillon à doser et ajouter 4 ml de réactif de Bradford (Annexe 1), après 2 min du développement de la réaction, la densité optique est lu à 595 nm.



Figure 7: Dosage des protéines totales.

A: 0,2 g de poids d'échantillon **B :** Prendre 2 ml de tampon phosphate. **C :** Broyage à froid de la matière végétale avec tampon phosphate 0.06M pH 7. **D :** Centrifugation. **E:** récupérer la surnageant. **F:** préparation de réactif de Bradford. **G et H:** Passage en spectrophotomètre après 2 min du développement des réactions

5.4.4. Dosage de la chlorophylle:

Le dosage de la chlorophylle est réalisé selon la méthode décrite par HOLDEN (1965). L'extraction de la chlorophylle à l'acétone pure à 90% : broyage avec 4.5ml d'acétone pour 50 mg de matière végétale fraîche, centrifugation à 5000 tours / minute pendant 10 à 15 min à 25 C°, jusqu'à l'obtention d'un liquide limpide. Les caroténoïdes sont détectés en spectrophotométrie à une DO de 750, 660. L'étalonnage de l'appareil se fait par la solution témoin d'acétone à 90%.

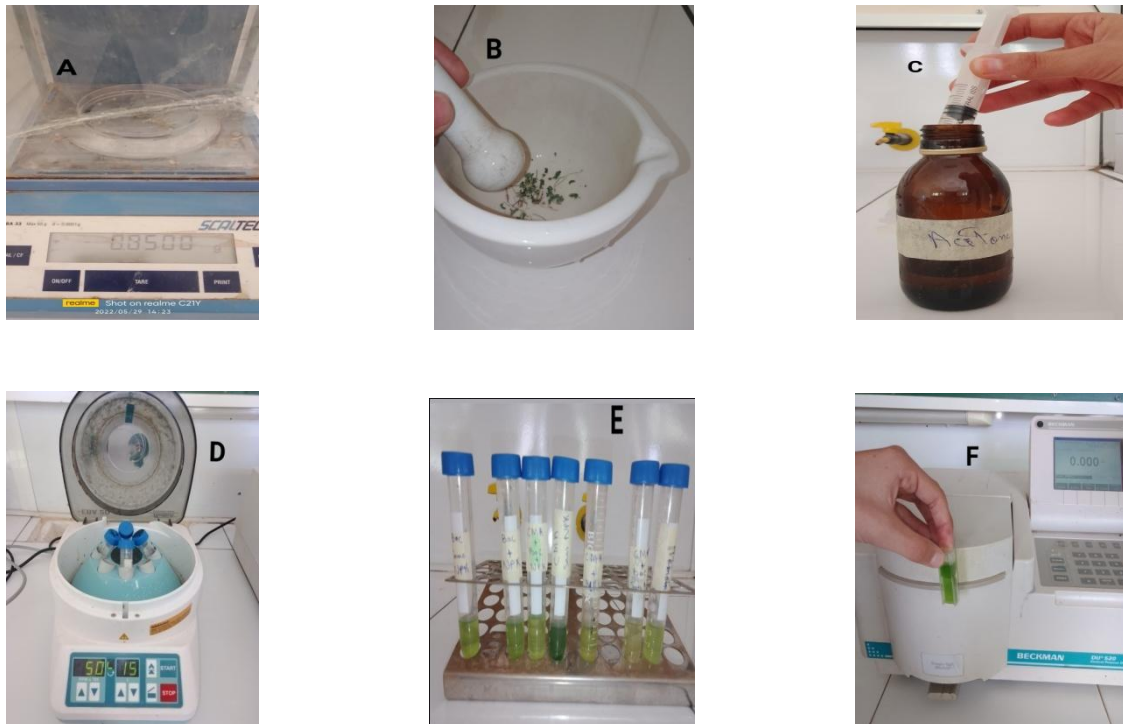


Figure 8: Dosage de la chlorophylle.

A: 0.05g de poids échantillon. **B et C:**

Broyage à froid de la matière végétale avec 4.5ml d'acétone.

D: Centrifugation.

E et F: Passage en spectrophotomètre à 750 et 660 nm.

5.4.5. Dosage de la proline:

Un échantillon représentatif de 0.2 g de matière végétale fraîche est placé dans un tube à essai contenant 1 ml de méthanol. Les tubes sont conservés dans un bain Marie pendant 30 min, puis refroidi à température ambiante. 0.2 ml de ninhydrine) est ajouté au mélange qui est maintenu dans le bain Marie pendant 20 min, puis a été refroidi juste après dans un bain d'eau

glacée. Le mélange réactionnel a été extrait avec 0.2 ml de toluène vigoureusement agité et laissé à température ambiante pendant 30 min jusqu'à la séparation des deux phases. Le chromophore contenant du toluène (0.2 ml, phase supérieure) était jeté à la température ambiante et sa densité optique était mesurée à 520nm par spectrophotomètre en utilisant du toluène comme solution de calibration (SADASIVAM et MANICKAM., 1996).

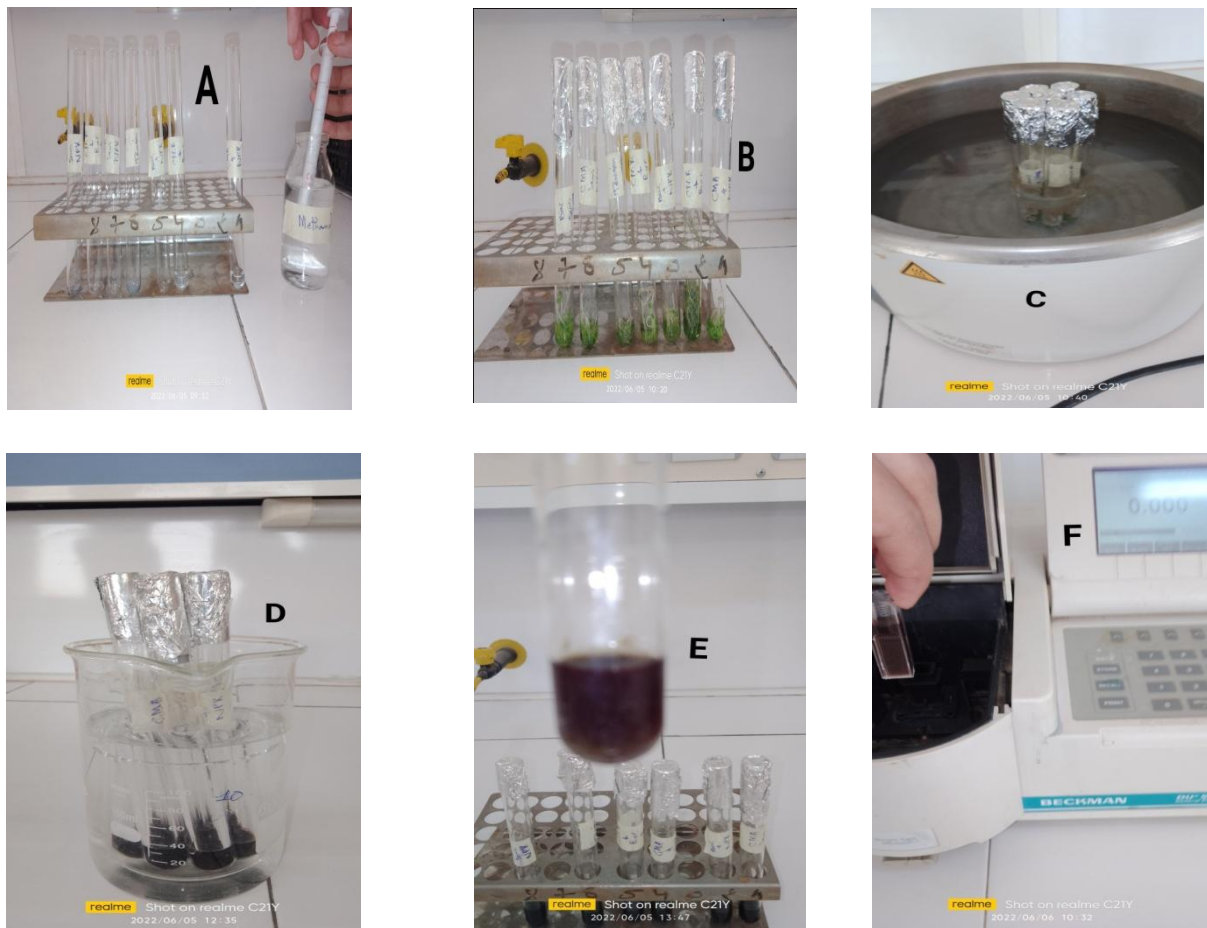


Figure 9: Dosage de la proline.

A:Mettre 1ml de méthanol. **B:**Ajouter 0,2 g de matière végétale **C:** chauffage au bain marie **D:** Mettez-le dans de l'eau froide **E :** Séparation des deux phases. **F:** Passage la phase supérieure en spectrophotomètre à 520 nm.

5.5. Estimation des activités enzymatiques:

5.5.1. La catalase:

50 mg du poids frais foliaire provenant du même pot ont été utilisé comme réplique biologique. Le matériel biologique a été broyé et homogénéisé dans 0.5 ml de tampon phosphate de potassium (100 mM, pH 7.0). Le surnageant est récupéré après centrifugation (12 000xg, 5 min, 4°C) et gardé dans la glace jusqu'au dosage de l'activité.

La catalase est un enzyme permettant la transformation de l'eau oxygénée (H₂O₂) en eau (H₂O) et dioxygène (O₂). Pour mesurer cette activité nous allons mettre l'extrait enzymatique en contact avec de l'eau oxygénée pendant une durée déterminée. Nous évaluerons alors l'activité enzymatique de la catalase en déterminant la quantité restante d'eau oxygénée (UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER., 2010). Pour cela nous effectuerons un dosage au permanganate de potassium (Annexe 3) en milieu acide suivant les réactions suivantes :



L'ion permanganate ainsi obtenu (Mn²⁺) est de couleur rose. Il permet donc de déterminer l'équilibre au moment du dosage. Cette coloration n'est pas stable car il se suit une autre réaction :



Mais toutefois la coloration reste durent une période de 15 secondes au moment de l'équilibre.

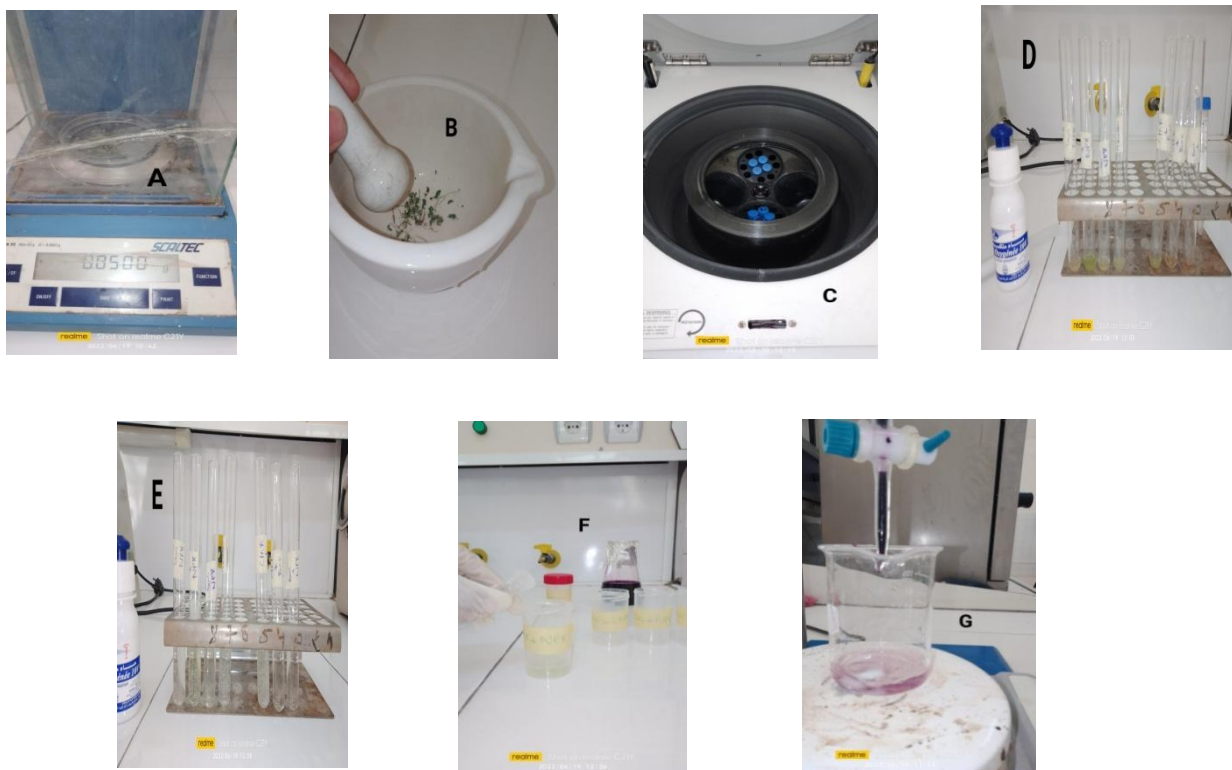


Figure 10 : Dosage enzymatique de catalase.

A:Poids 0,05 g d'échantillon **B:**Broyage avec tampon phosphate de potassium
C: Centrifugation **D:**récupérer la surnageant **E:** Ajoute 5 ml d' H_2O_2 . **F:**Ajoute 12.5 ml de solution de H_2SO_4 à 2%. **G:** Dosage de l' H_2O_2 au permanganate de potassium.

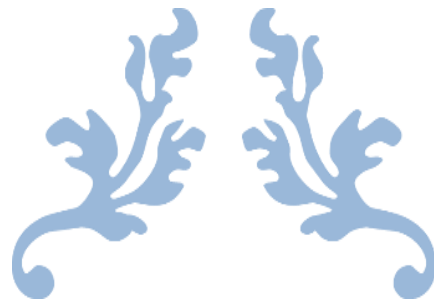
5.5.2. L'ascorbate peroxydase "APX" :

20 mg du poids frais foliaire prévenant du même pot ont été utilisés comme répliques biologique. Le matériel biologique a été broyé et homogénéisé dans 100ml d'eau distillé, Le surnageant est récupéré après centrifugée pendant 3 min à 3000 tours /min et prendre 100 μ l de l'extrait et ajouter 72.5 μ l d'acide, 1.22ml de tampon phosphate (100 mM, pH 7.0) 150 μ l d'eau distillée, avec l'agitation et sa densité optique était mesurée à 520 nm par spectrophotomètre en utilisant du toluène comme solution de calibrage.



Figure 3: L'ascorbate peroxydase "APX"

A: broyage à froid avec 100 ml d'eau distillé **B:**centrifugation. **C:** prendre 100 μ l de l'extrait **D:**Ajouter 72,5 μ l d'acide ascorbique, 1,225 ml de tampon phosphate, 150 μ l d'eau distillée, avec l'agitation. **E et F:**passage en spectromètre à 420nm.



PARTIE 3:
Résultats et discussion



Chapitre 6: Résultats

6.1. Résultats des analyses pédologiques :

Le sol de prélevé de noytre zone d'étude, se caractérise par une humidité assz faible, de l'ordre de 2.8%. Une teneur faible an azote avec une concentration très importante en calcaire totale qui traduit une valeur assez importante en calcaire actif. Le sol est pauvre en phosphore assimilable (tableau 2).

Tableau 2: Résultats des analyses du sol avant la plantation.

Paramètre dosé	Concentration
L'humidité	2.8 %
La conductivité	32 ms
Ph	7.85 à une température 25
Azote totale	0.15%
Calcaire totale	24.7%
Calcaire actif	12%
Phosphore assimilable	0.17g/kg

6.2. Résultats du dosage de phosphore après la plantation:

Après 4 mois de plantation, le phosphore assimilable dans le sol a été dosé une deuxième fois. Les valeurs obtenues indiquent des quantités faibles mais différentes de la valeur initiale dans le sol à l'état naturel. Au niveau du témoin nous avons enregistré 0.2 g de phosphore par Kg de sol. Les valeurs varient de 0.04g/Kg dans les sols contenant le traitement d'inoculation à base de bactéries rhizosphériques uniquement à 0.42 g/Kg dans le sol qui contenet le traitement mélangé de bactéries, de CMA avec la présence de l'engrais chimique NPK.

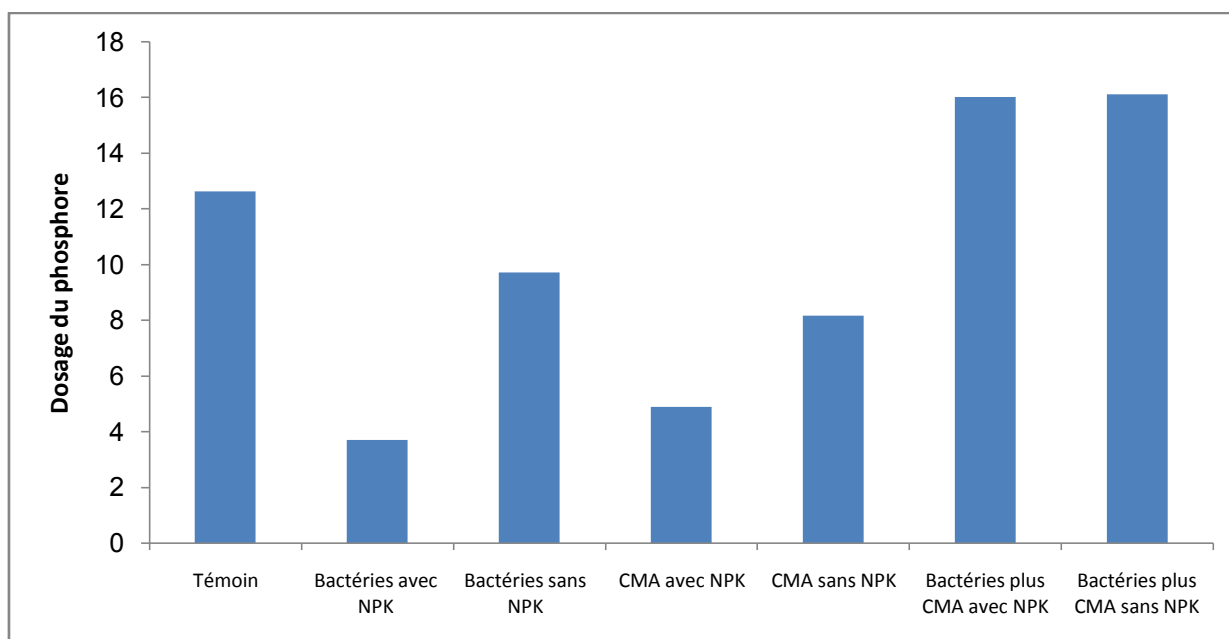
Tableau 3: Résultats de la teneur en phosphore du sol.

	Témoin	Bactéries avec NPK	Bactéries sans NPK	CMA avec NPK	CMA sans NPK	Bactéries plus CMA avec NPK	Bactéries plus CMA sans NPK
La teneur en phosphore (g/kg)	0.2	0.04	0.15	0.2	0.07	0.42	0.13

a- Résultats du dosage des phosphores totaux solubles :

Selon les résultats des analyses représentés dans la (figure 11) nous constatons que les valeurs de phosphore les plus élevées ont été enregistrées pour les traitements composés du mélange CMA/Bactéries que se soit en présence ou non d'engrais chimique NPK.

Les valeurs les plus basses ont été enregistrées dans le traitement contenant uniquement des bactéries et celui avec les CMA seules et ce avec l'ajout du NPK. Ces valeurs sont inférieures à celle du témoin qui ne contient aucun traitement.

**Figure 4:** Résultats de la teneur en phosphore chez la plante (*Medicago sativa*).

b. Résultats du dosage des protéines totales solubles:

En se basant sur les résultats représentés dans la figure 12, la valeur la plus élevée en protéines a été enregistrée dans le traitement auquel des bactéries et du CMA ont été ajoutés, en l'absence d'engrais NPK, puis la valeur qui a été enregistrée après celle avec le CMA en présence de NPK. Le traitement auquel des bactéries, des CMA et du NPK ont été ajoutés ensemble, et auxquels des bactéries et du NPK ont été ajoutés, la valeur des protéines est presque inexistante, car la valeur est insignifiante (0,00001 mg/ml).

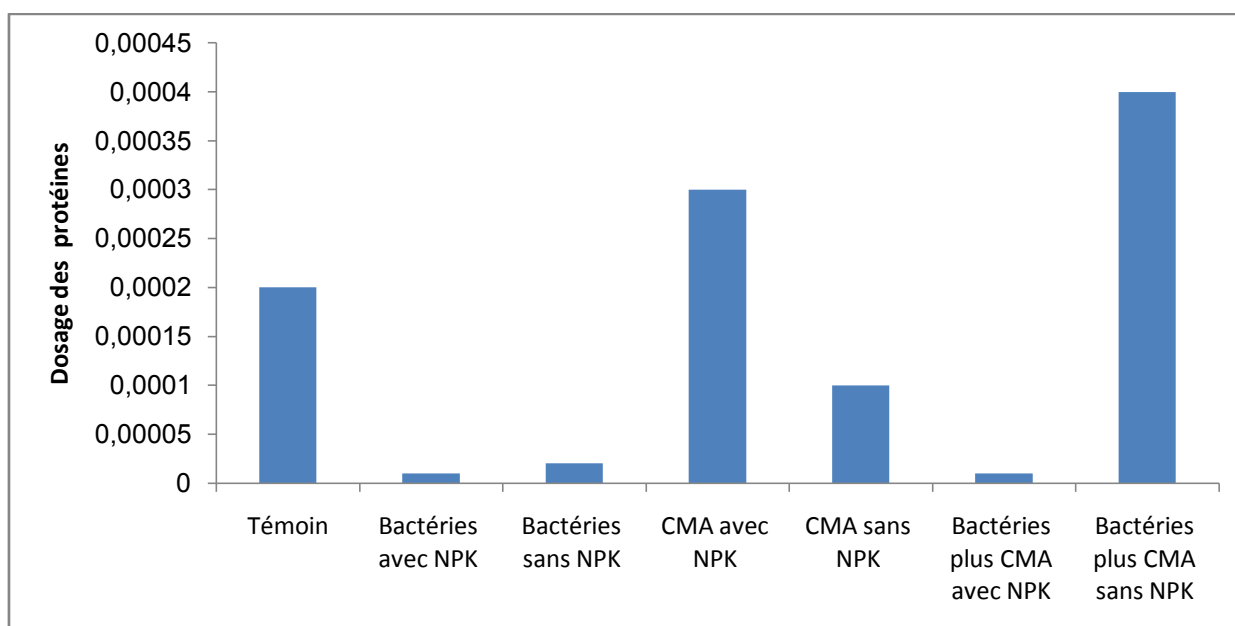


Figure 5: Résultats de la teneur en protéine chez la plante (*Medicago sativa*).

c. Résultats du dosage de la chlorophylle:

La figure 13 montre que la valeur de chlorophylle la plus faible a été enregistrée dans le traitement contenant les bactéries avec présence du NPK, alors que les autres valeurs variaient approximativement entre 1.39 % et 5.69 %.

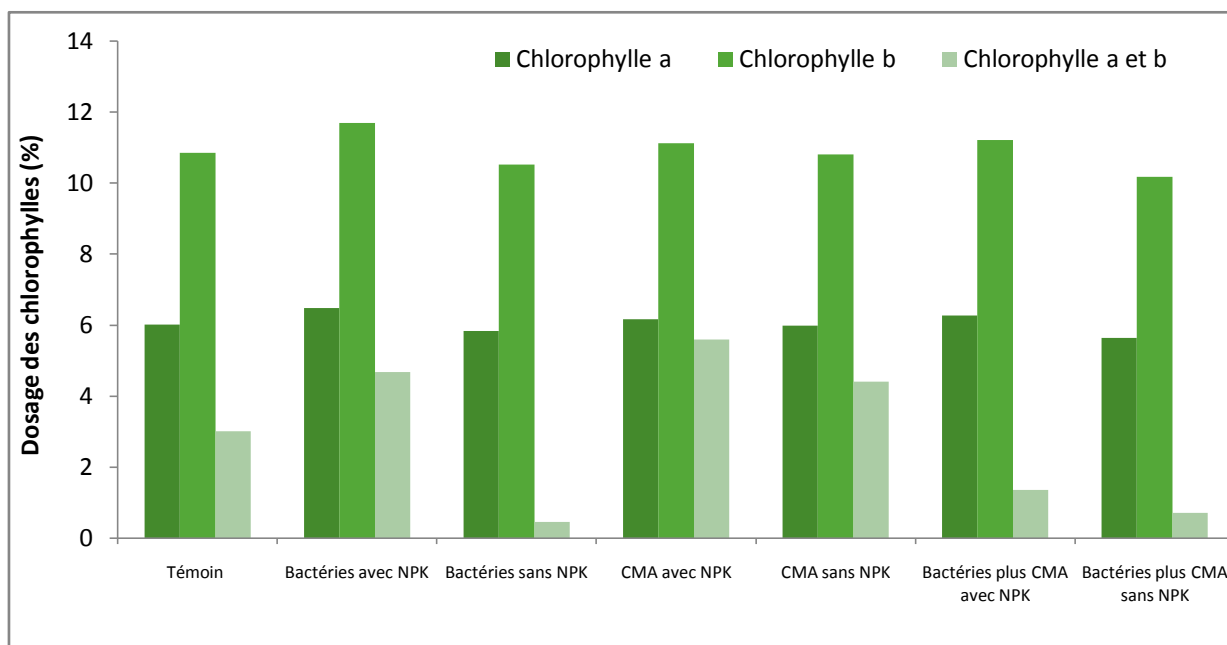


Figure 6: Résultats du dosage de chlorophylle chez la plante (*Medicago sativa*).

d. Résultats du dosage de la proline:

En se basant sur les résultats obtenus représentés dans la figure 14 nous constatons que la valeur la plus élevée a été enregistrée dans le traitement du CMA sans NPK. Tandis que la valeur la plus faible a été enregistrée dans le traitement auquel le CMA a été ajouté en présence d'engrais.

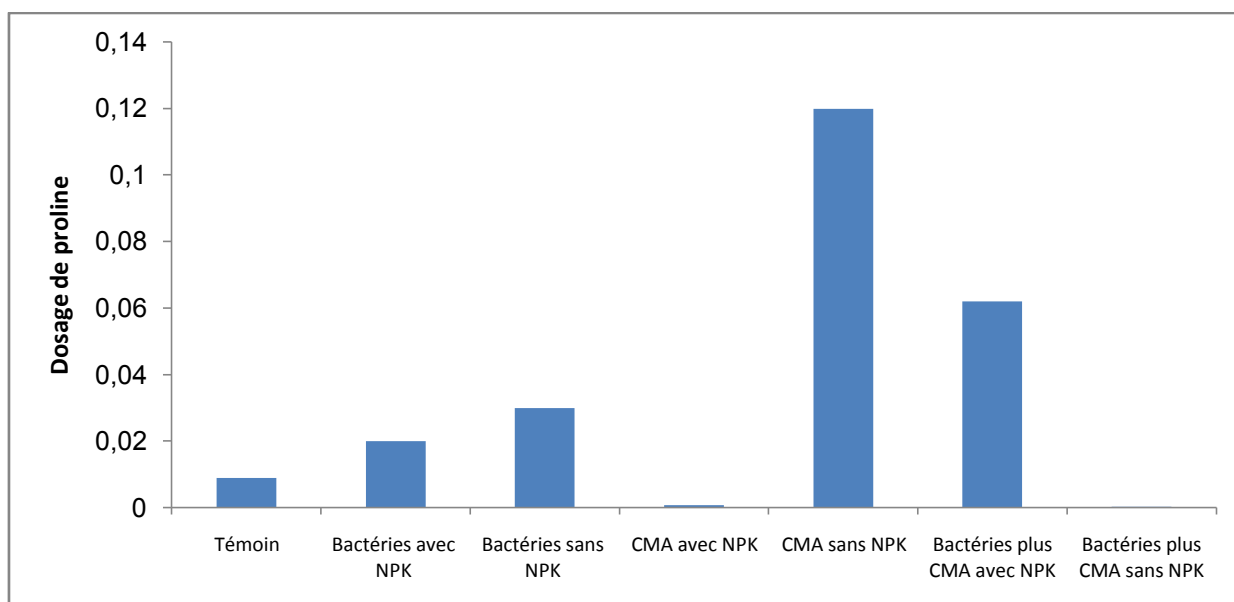


Figure 7: Résultats de la teneur en proline chez la plante (*Medicago sativa*).

e. Résultats du dosage de l'activité enzymatique Catalase :

Les résultats de la figure 16 montrent que les traitements contenant des CMA seul ou avec des bactéries, en l'absence ou en présence de NPK ont enregistré une valeur de catalase égale estimée à 4,16 uKat/g.

La même valeur a été enregistrée lors du traitement des bactéries avec NPK, tandis que le reste des traitements a enregistré une valeur de 0.

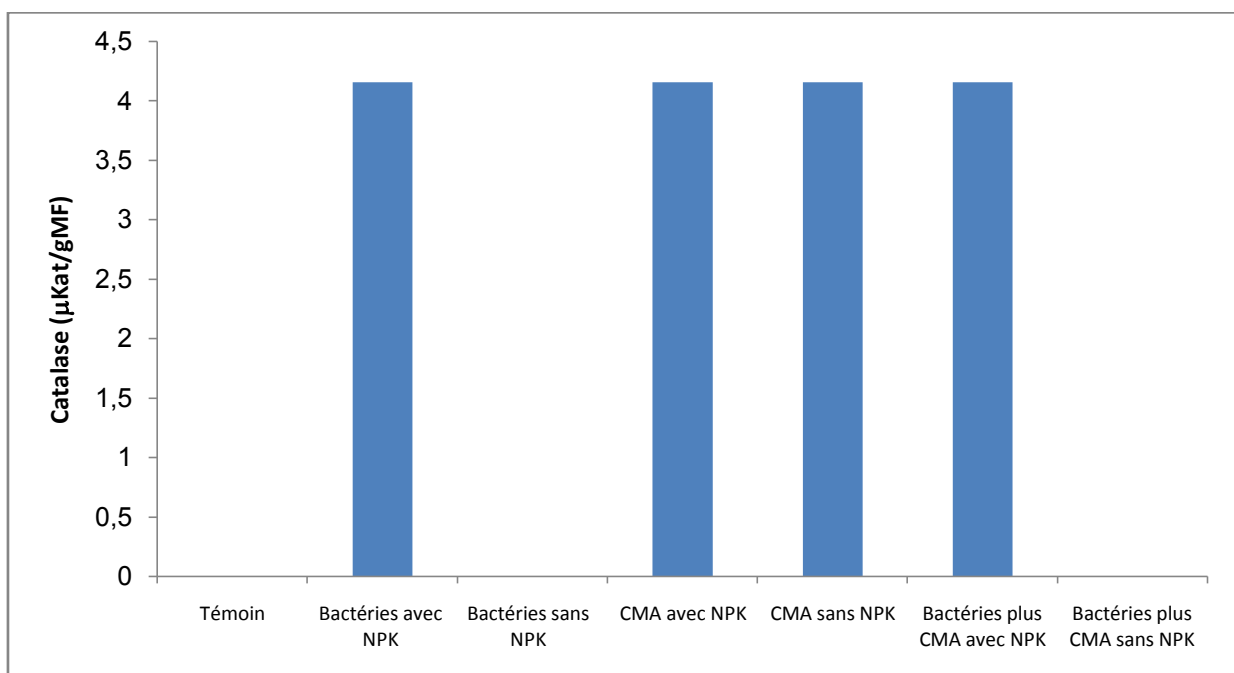


Figure 16: Résultats du dosage de la catalase (*Medicago sativa*).

f. Résultats du dosage de l'ascorbate peroxydase (Apx):

Sur la base des résultats obtenus illustrés à la figure 18, il nous semble que la valeur la plus élevée était enregistré avec le traitement CMA en présence de NPK. Le traitement composé des bactéries rhizosphériques uniquement en présence de l'engrais chimique NPK présentent des résultats de catalase élevée. La catalase a été réduite par le traitement contenant le mélange bactérie/CMA avec NPK. Les CMA seules ont contribué efficacement à la diminution de l'enzyme de stress.

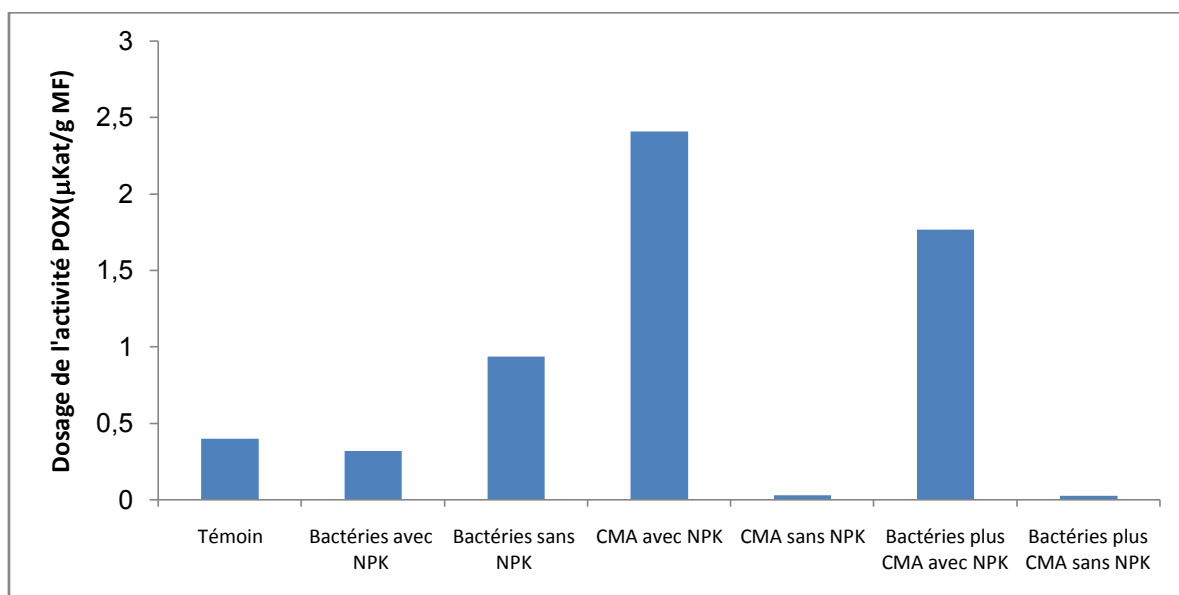


Figure 87: Résultats de la teneur en l'Ap_x chez la plante (*Medicago sativa*).

Chapitre 7 : Discussion

Notre présente étude a porté sur l'impact de l'interaction plante/ bactérie/ champignon mycorhiziens sur la dissolution biologique des phosphates. Le but est d'introduire un facteur biologique qui permettra à la plante d'assimiler le phosphore disponible dans le sol.

Dans un premier temps les analyses pédologiques nous ont permis de déterminer les caractéristiques physico-chimiques de notre sol originaire de la région d'ezzayna. Nous avons un sol alcalin avec un pH de l'ordre de 7.8, avec une teneur importante en calcaire totale et par conséquent en calcaire actif. Un sol est considéré comme calcaire lorsqu'il contient 10 à 30% de carbonate de chaux associé à de l'argile. Le terme "sol calcaire" est utilisé par opposition au "sol acide" mais le terme scientifique approprié est "alcalin"(EMJAY, 2022).

Ce taux élevé en calcaire peut être attribué à l'historique des sols de cette région considéré comme polluer par les déchets des usines qui déversent leurs résidus dans l'oued mellah et qui s'accumule dans notre région d'étude.

Concernant la teneur en azote total, selon Lasinier-Lachaise (1973), les sols sont considérés riches en azote lorsque le taux est supérieur à 0.15 % et moyen lorsqu'il est situé entre 0.10 et 0.15 %. Nous pouvons donc dire que le sol de notre zone d'étude est riche en azote.

Quant au phosphore, et surtout dans notre travail, le sol a été analysé avant de le planter, et nous avons obtenu une valeur de 0.17 g/kg.

Après la plantation, nous avons trouvé le pourcentage le plus élevé de phosphore dans les traitements auxquels des bactéries, des champignons micorhiziens et des engrais NPK ont été ajoutés en même temps. Il est supérieur au pourcentage enregistré dans le sol à l'état naturel.

Ce résultat suggère l'action positive des microorganismes symbiotiques dans la transformation du phosphore non assimilable et le rendre assimilable pour les plantes. Quant aux plantes, la teneur en phosphore dans les parties aériennes est plus significative avec l'ajout des microorganismes symbiotiques avec des teneurs atteignant 16.13 g/kg de sol. Ce résultat peut être expliqué par l'activité promotrice des bactéries symbiotiques qui stimulent la croissance de leur plante hôte et qui stimulent en parallèles l'action solubilisatrice des champignons mycorhiziens arbusculaires vis-à-vis des minéraux et principalement le

phosphore ces bactéries sont capables de survivre et de coloniser les sols rhizosphérique (BELKACEM et al., 2019).

Dans notre étude, nous avons constaté que la luzerne (*Medicago sativa*) interagit positivement avec les traitements d'inoculation que ce soit la bactérie seule, la mixture de CMA ou l'association des deux et ce avec ou sans la présence de NPK dans le sol. Ces résultats concordent avec ceux de (Dhanha, 2011), qui a conclu de l'effet synergétique des bactéries en dissolvant les phosphates grâce aux acides organiques qu'elles secrètent et qui provoquent la réduction du pH du milieu de culture liquide (Obaïd, 2012).

Nous avons enregistré une amélioration de la teneur en chlorophylle des plantes auxquelles nous avons ajoutés des bactéries sur un substrat enrichi en NPK, même constatation pour les plantes avec les traitements mycorhiziens jumelé avec le NPK.

En effet, il a souvent été établi que les microorganismes symbiotiques que ce soit les champignons mycorhiziens arbusculaires ou les bactéries rhizosphérique affectent la physiologie et la biochimie de la plante hôte par une augmentation de la photosynthèse qui se manifeste par les taux élevés de chlorophylle (DIAGNE et al., 2018).

Nous avons observé la présence de proline et de protéines dans presque tous les traitements avec des quantités similaires, en particulier dans les plantes traitées avec Bactéries et les champignons mycorhiziens arbusculaires en même temps et ce en présence du NPK. Ces résultats sont en accord avec les résultats de GHEORGHE et al.(2011) et ABEDI et al.(2010).

Les engrais phosphatés ont également un rôle dans l'augmentation de l'efficacité des plantes dans l'utilisation de l'azote, et ses composés qui entrent dans la formation de protéines ont été augmentés, augmentant ainsi son pourcentage dans les grains, et le potassium active l'enzyme Nitrate réductase important dans le processus de réduction des nitrates dans les plantes puis de leur conversion en ammoniac, qui se lie à un acide céto-gène organique pour former des acides aminés puis des protéines (FALIH et HALIFI.,2017).

A travers ces résultats, il nous apparaît que l'enzyme catalase est présente en quantité importante et de près dans tous les traitements. La catalase, une enzyme qui provoque (catalyse) la réaction par laquelle le peroxyde d'hydrogène est décomposée en eau et en oxygène. La catalase est également omniprésente dans les plantes et n'inclut pas les champignons, bien que certains champignons se soient avérés capables de produire cette enzyme dans des conditions de faible Ph (KIMYA, 2022).

L'activité peroxyde desmutase (Apx) est significativement plus élevée dans le traitement de CMA avec NPK par rapport au témoin.

Et il diminue dans les traitements qui n'ont pas ajouté de NPK comme le traitement de CMA sans NPK et le Bactéries plus CMA sans NPK.

Conclusion

Conclusion

Ce travail a été entrepris dans l'objectif de déterminer. L'effet de l'interaction plantes/bactéries/champignons sur la dissolution biologique des phosphates.

Dans ces conditions, nous avons des sols calcaires riches en azote et pauvres en phosphore, afin d'obtenir de bons résultats et une croissance complète des plantes, des engrais NPK doivent être ajoutés, tout en facilitant son absorption par la plante en ajoutant des bactéries dissolvant le phosphore parce que le phosphate est le nutriment le plus important pour le métabolisme des plantes. Les bactéries solubilisatrices du phosphate (BSP) produisent des enzymes et des acides organiques étroitement liés aux mécanismes de solubilisation des phosphates organiques et/ou inorganiques dans le sol, participant à l'augmentation des concentrations du phosphate assimilable par les plantes. L'avantage de ces microorganismes biofertilisants c'est leur aptitude durable, mais aussi leur sécurité à long terme pour l'homme et l'environnement.

Pour que la plante obtienne la plus grande quantité de phosphore trouvée dans le sol après l'ajout de NPK, les bactéries doivent être accompagnées de mycorhizes afin que le phosphore soit davantage isolé de l'engrais et transféré vers la plante.

Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) sont des biotrophes obligatoires pouvant établir des symbioses avec 80 % des plantes terrestres. L'intérêt et l'utilisation des CMA et des bactéries qui leur sont associées en agriculture connaissent un essor remarquable partout dans le monde. En plus de leurs rôles dans la protection des plantes contre les pathogènes et les polluants organiques et inorganiques du sol, ils jouent un rôle important dans la capture des éléments minéraux essentiels pour la croissance des plantes, notamment le phosphore, tout en permettant à la plante de mieux s'approvisionner en eau dans les périodes sèches.

Références bibliographiques:

Références bibliographiques

1. ABDEL QADER I. Article sur l'importance des bactéries bénéfiques [En ligne]. créé en 2022 [https://mawdoo3.com], (consulté le 08 mai 2022).
2. ABEDI, T.; A. ALEMZADEH and S. A. KAZEMEINI .(2010). Effect of Organic and Inorganic Fertilizers on Grain Yield and Protein Banding Pattern of Wheat. A.J.C.S., 4(6),384-389.
3. ALEBNN S. Le rôle du phosphore dans la production de tomate [En ligne]. créé en 2017 [https://www.semivoire.com], (consulté le 3 mars 2022).
4. ANAT. « Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme, commune de Djelfa
a. And Biochemist EY of plant pigments. Academie Press. 461-488.
5. BADAOU M. Le rôle des champignons <<Mycorhiziens>> dans l'accès de 50% du phosphate au sol [En ligne] . créé en 2020 [https:// www.agri2day .com], (consulté le 6 juin 2022).
6. BALBONTIN, R., et H. VLAMAKIS. 2014. Mutualistic interaction between Salmonella enterica and Aspergillus niger and its effects on Zea mays colonization . Microbial Biotechnology 7 (6) : 589-600.
7. BASIRU, S.; MWANZA, H.P.; HIJRI, M. Analysis of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Inoculant Benchmarks. Microorganism 2021, 9, 81.
8. BELKACEM M. et MADBOUA C. et RAI A., 2019 -Les Bactéries solubilisatrices du phosphate : Avancées et perspectives en agriculture moderne. Mém. Master en microbiologie appliquée. Univ. Akli Mohand oulhadj, Bouira, 61p.
9. BONFANTE P, ANCA IA (2009) Plants, mycorrhizal fungi, and bacteria: A network of interactions. Annu Rev Microbiol 63:363-383.
10. BOONCHAN, S., M. L. BRITZ et G. A. STANLEY. 2000. Degradation and mineralization of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons by dened fungal bacterial cocultures . Applied and Environmental Microbiology 66 (3) : 1007-1019.
11. CHARLES K. Problème environnemental lié au phosphore dans les sols du N .B [En ligne]. créé en 2004 [https://www2.gnb .ca .com], (consulté le 1 mars 2022).
12. CLEMENTINE, D. Les mycorhizes : une association surprenante entre plantes et champignons [En ligne]. créé en 2014 [https://www.gerbeaud.com], (consulté le 17 février 2022).

13. DHANHA,B.La préparation du phosphore en ajoutant des phosphates et en y résolvant des bactéries[En ligne].créé en 2011[<https://search.emarefa.net/>],(consulte le 20 août 2022).
14. DODD, I.C.; ZINOVKINA, N.Y.; SAFRONOVA, V.I.; BELIMOV, A.A. Rhizobacterial mediation of plant hormone status. *Ann. Appl. Biol.* 2010, 157, 361–379. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00439.x>.
15. DUCOUSSO-DÉTREZ, A.; FONTAINE, J.; LOUNÈS-HADJ SAHRAOUI, A.; HIJRI, M. Diversity of Phosphate Chemical Forms in Soils and Their Contributions on Soil Microbial Community Structure Changes. *Microorganisms* 2022, 10, 609. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030609>.
16. EMJAY,S.Sol calcaire :composition ,pH et caractéristique[En lign].créé en 2022[<https://www.journaldesfemmes.fr/>],(consulté le 19 septembre).
17. EZAWA, T., SMITH, S. E., SMITH, F. A. 2002. P metabolism and transport in AM fungi. *Plant Soil*, 244(1-2). 221–230.
18. FALIH, M et HILFI ,I.Effet des engrais minéraux, organiques et biologiques sur quelques caractéristiques qualitatives du blé panifiable [En ligne].créé en 2017[<https://www.iasj.net/>],(consulte le 24 août 2022).
19. FORTIN JA, PLENCHETTE C, PICHÉ Y (2008) Les mycorhizes : La nouvelle révolution verte. Editions Multimondes.
20. FRANÇOISE A.,1997_Les formes de phosphore particulaire et sédimentaire en environnement côtier .thèse de Doctorat, univ. Bretagne occidentale, France ,336p
21. GARBAYE J. ,2015_La symbiose mycorhizienne. Ed.Cirad, Ifremer, Inra, Irstea, France, 251 p.
22. GHEORGHE, C.; D. CORNEL; C. CORNELIA; B. LUCIAN; B.VASILE; B. CAMELIA; A.ROMONA, S.MARIA; B. GHEORGHE and V. ADRIAN.(2011) . Effect of Chemical Fertilizers on Grain Quality of Winter Wheat in Pre-luvosoil Conditions. *Analele Universitatii Din Oradea Fascicula Protectia Mediului.*, Vol. 105, 37-44.
23. HANSALI K.et BANOUH S.,2020_Les bactéries solubilisatrices du phosphate: Avancés et perspectives en agriculture moderne .Mém. Master en biologie .Univ .AKLI MOHAND OULHADJ,BOUIRA, 61P.
24. HASTINGS, A., et L. J. GROSS. 2012. *Encyclopedia of Theoretical Ecology*. Édité par University of California Press. 12. University of California Press.

25. HOLDEN, M. (1965) Chlorophylle. Dans : Goodwin, TW, Ed., Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments, Academic Press, Londres, 462-488.
26. JANINE G. Bactéries:les relations symbiotiques dossier _futura _sciences [En ligne] .créé en 2019[https://www.Futura_sciences .com],(consulté le 24 février 2022).
27. JEAN F.Minéralisation du phosphore :définition et explications [En ligne].créé en 2009[https://www.aquaprotail.com/redacteur_web.html],(consulté le 23 avril 2022).
 - a. Journal mondial de microbiologie et de biotechnologie , 2009, p. 1471–1477
28. KIMYA,A.CATALASE [En ligne].créé en 2020 [<https://www.atamanchemicals.com>], (consulte le 2 septembre 2022).
29. LEAKE, J., D. JOHNSON, D. DONNELLY, G. MUCKLE, L. BODDY and D. READ, 2004. Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. Canadian Journal of Botany 82:10161045
30. LERAT, S., L. LAPOINTE, Y. PICHÉ, H. VIERHEILIG, 2003. Variable carbon-sink strength of different Glomusmosseae strains colonizing barley roots. Canadian Journal of Botany 81:886-889.
31. MACKEY KRM, PAYTAN A (2009) Phosphorus cycle. Encyclopedia of Microbiology. Moselio Schaechter (ed.), Oxford, pp. 322-334
32. MALBOOBI M., OWLIA P, BEHBAHANI M, et SAROKHANI E, MORADI S, YAKHCHALI B, DELJOU A, « Solubilisation des phosphates organiques et inorganiques par trois isolats bactériens du sol hautement efficaces », La biologie
33. MARA, P. R., ISABEL, C. M. C. J., LUIZ, C. R. S., MARCOS, A. S., FLVIA, D. P., EDSON, L. S., FABIANO, G. S. 2014. Phosphate solubilization and phytohormone production by endophytic et rhizosphere Trichoderma isolates of guanandi (Calophyllum brasiliense Cambess). African Journal of Microbiology Research, 8(27), 2616–2623. doi:10.5897/ajmr2014.6633.
34. MILLER, R.M. AND J.D. JASTROW, 1992. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation. In: Bethlenfalvay, G.J. and R.G. Linderman (Eds) Mycorrhizae in

35. Obaïde ,K.B.La préparation du phosphore en ajoutant des phosphates et en y résolvant des bactéries[En ligne].créé en 2012[<https://search.emarefa.net/>],(consulte le 20 août 2022).
36. OLIVIER L. Les mycorhizes ont une importance capitale dans nos cultures [En ligne].créé en 2019[<https://blog.defi-ecologique.com/>],consulté le 17 février 2022).phase I : monographie» 1996.
37. PIERRE M .Symbioses végétales intracellulaires :une origine commune repose sur trois gènes [En ligne].créé en 2020 .[<https://www.insb.cnrs.fr>] ,(consulté le 19 juin 2022).
38. RILLIG, M.C., S.F. WRIGHT and V.T. EVINER, 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plants species. *Plant and Soil* 238:325-333
39. SHARMA, S. B., SAYYED, R. Z., TRIVEDI, M. H., GOBI, T. A. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils, *SpringerPlus*. 2(1),<https://doi:10.1186/21931801-2-58>
40. SHEENA S.,2018_Étude de l'impact des symbioses mycorhizienne et rhizobienne dans la domestication du Tara.thèse de Doctorat ,univ. Peruana cayetanoheredia ,Montpellier,146p
41. SMITH, S.E. and D.J. READ, 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press. London.
42. SONG, O. R., LEE, S. J., LEE, Y. S., LEE, S. C., KIM, K. K., CHOI, Y. L. 2008. Solubilization of insoluble inorganic phosphate by *Burkhol deriacepacia* DA23 isolated from cultivated soil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 39(1), 151-156.
43. sustainable agriculture, ASA Special Publication Number 54, Madisom, Wisconsin, pp 29-44
44. TAKTEK S.,2015_Dissolution biologique des phosphates: Interaction bactéries _mycorhizes. thèse de Doctorat, Univ. Quèbec, Canada,150p.
45. Thaqeef ,A. Le rôle de la fertilisation phosphorée dans les sols agricoles et les grandes cultures[En ligne].créé en 2021[<https://e3arabi.com/>],(consulte le 20 septembre 2022).
46. UROZ, S., et al. 2007. Eect of the mycorrhizosphere on the genotypic and metabolic diversity of the bacterial communities involved in mineral weathering in a forest soil . *Applied and Environmental Microbiology* 73 (9) : 30193027.

47. VESSEY, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, 255, 571–586.
48. VIJAYALKSHMI, R. K. KAIRUNNISA, S. NATARAJAN. 2016. Phosphate solubilization by rhizosphere Bacteria isolated from Rose garden soils of Satkhol, India, *J. Acad. Ind. Res.* 4(11), 243-245.
49. VINCENT C, 2008_Étude moléculaire des chamoignons mycorhiziens arbusculaires dans système agrisylvicole. mém .Master en bio et de la foret .université LAVAL .Canada ,102p
50. WHIPPS, J.M., 2004. Prospects and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens. *Canadian Journal of Botany.* 82:1198-1227
51. WRIGHT, S.F. and A. UPADHYAYA, 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 198:97:107
52. WRIGHT, S.F. and L. ANDERSON, 2000. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the Central Great Plains. *Biology and Fertility of Soil* 31: 249-253.

Annexes

Annexes

1. **Réactif de Bradford** : Bleu de Coomassie G250 40mg ; Ethanol à 95% 4mL ; Acide phosphorique (H₃PO₄) à 85% 2mL ; d'H₂O QSP 30mL (à conserver à +4°C à l'abri de la lumière).
2. **Solution de Ninhydrine** : dans la hotte mesuré 100 mg de ninhydrine et ajoute 50 ml de propanol.
3. Solution de permanganate de potassium :1.6gde permanganate de Potassium et 160 d'eauidistillée.
4. Résultats des teneurs des différents composés chez la plante (**Medicago sativa**).

Type de pot	Témoin	Bactéries avec NPK	Bactéries sans NPK	CMA avec NPK	CMA sans NPK	Bactéries plus CMA avec NPK	Bactéries plus CMA sans NPK
La teneur en phosphore (g/kg)	12.63	3.71	9.73	4.91	8.18	16.02	16.13
La teneur en protéine (mg/ml)	0.0002	0.00001	0.00002	0.0003	0.0001	0.00001	0.0004
Chl.a + Chl.b(%)	3.01	4.683	0.463	5.601	4.418	1.398	0.718
La teneur en proline(μ)	0.009	0.02	0.03	0.0008	0.12	0.062	0.027
La teneur en catalase (ukat/g)	0	4.16	0	4.16	4.16	4.16	0
La teneur en l'Apx (umol/min)	0.40	0.32	0.94	2.41	0.032	1.77	0.05

Résumé

Le phosphate est un élément important de la nutrition des plantes dans le sol. Il est souvent disponible sous une forme non absorbée par les plantes, où il se transforme rapidement en formes insolubles et est fixé par le fer et l'aluminium dans les sols acides et par le calcium et le magnésium dans les sols d'algues. Les bactéries phosphate-solubles et les champignons mycorhiziens arbusculaires convertissent les phosphates insolubles et donc insolubles en formes facilement absorbables grâce à leurs capacités de solubilité et de minéralisation. Dans notre présente étude nous avons essayé de déterminer la combinaison de microorganismes la plus efficace dans la solubilisation du phosphore sur un sol pollué. Les résultats obtenus ont permis de suggérer que la combinaison CMA/Bactérie est la plus efficace dans l'absorption du phosphore et le rendre assimilable pour la plante hôte. Ainsi, ces micro-organismes respectueux de l'environnement peuvent être utiles comme alternatives aux engrais chimiques qui sont rentables et nocifs à la fois pour la santé humaine et l'équilibre écologique.

Mots-clés : Agriculture, Fertilisation, Engrais Biologiques. Bactérie rhizosphérique, Mycorhize.

Abstract

Phosphate is an important element of plant nutrition in the soil. It is often available in a form not taken up by plants, where it rapidly converts to insoluble forms and is taken up by iron and aluminum in acidic soils and by calcium and magnesium in algal soils. Phosphate-soluble bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi convert insoluble and therefore insoluble phosphates into readily absorbable forms through their solubility and mineralization capabilities. In our present study we tried to determine the most effective combination of microorganisms in the solubilization of phosphorus on a polluted soil. The results obtained made it possible to suggest that the CMA/Bacterium combination is the most effective in absorbing phosphorus and making it assimilable for the host plant. Thus, these environmentally friendly microorganisms can be useful as alternatives to chemical fertilizers which are cost effective and harmful to both human health and ecological balance.

Keywords: Agriculture, Fertilization, Organic Fertilizers. Rhizospheric bacteria, Mycorrhiza.

ملخص:

الفوسفات عنصر هام لتغذية النباتات في التربة . غالبا ما يتوفر في شكل غير قابل للامتصاص عن طريق النباتات حيث يتم تحويله بسرعة إلى أشكال غير قابلة للذوبان و يثبت عن طريق الحديد و الألمنيوم في التربة الحمضية و عن طريق الكالسيوم و المغنيسيوم في التربة الجيرية . تقوم البكتيريا المذوبة للفوسفات و champignons mycorhizien arbusculaire بتحويل المادة الغير قابلة للذوبان و بالتالي الفوسفات الغير قابل للامتصاص إلى أشكال سهلة الامتصاص عن طريق إمكانيات الذوبان و التمعدن الخاصة بها . لذلك يمكن أن تكون هذه الكائنات الحية الدقيقة الصديقة للبيئة مفيدة كبديل للأسمدة الكيماوية التي تعتبر فعالة من حيث التكلفة وضارة لكل من صحة الإنسان والتوازن البيئي ، هنا ، نقوم بتجميع الأعمال العلمية الأكثر صلة في مجال البحث عن البكتيريا والفطريات المعززة لنمو النبات ، خاصة إذا كانت البكتيريا و champignons micorhizien arbusculaire معا في نفس الوقت لكي يكون تطور أكثر للنبات.

الكلمات المفتاحية: زراعة ، تسميد ، أسمدة عضوية. بكتيريا التربة، الميكوريز.