

ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUE DU SOL SUR LA FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE ATMOSPHERIQUE CHEZ LE HARICOT

BENZAHERA Soraya^{1*}, ZOUAOUI Ahmed¹ et SNOUSSI Sid Ahmed¹

1. Laboratoire de Biotechnologie des Productions Végétales, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, -Département de Biotechnologie et Agro-Écologie, Université de Blida 1, BP 270, route de Soumaa, Ouled yaich, Blida, Algérie

Reçu le 05/04/2022, Révisé le 18/11/2022, Accepté le 03/12/2022

Résumé

Description du sujet : Notre travail a été réalisé dans le but d'étudier l'effet des caractéristiques physiques et chimiques de trois types de sol provenant des régions différentes sur la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique.

Objectifs : Cette étude permettra de mettre en relief l'influence de la nature du sol sur la croissance et le développement des plantes du haricot, ainsi que sur l'apparition des nodosités et la densité de la symbiose.

Méthodes : Des analyses physicochimiques du sol, des dosages de l'azote, des protéines et de la chlorophylle ont été faits. Ainsi des observations sur les racines afin de déterminer la densité et l'apparition des nodosités,

Résultats : Les résultats montrent que la nature physico-chimique du sol a une influence sur la nodulation et les paramètres biochimiques mesurés. Ainsi l'asphyxie racinaire induite de S3 empêche également les nodosités et la symbiose plante-bactérie rhizobium de s'installer.

Conclusion : Les variations des résultats enregistrés confirment que les plantes agissent indistinctement aux conditions édaphiques, notamment les plantes fixatrices d'azote atmosphérique.

Mots clés: *Phaseolus vulgaris* ; azote atmosphérique ; symbiose ; sol.

STUDY OF THE PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE SOIL ON THE BIOLOGICAL FIXATION OF ATMOSPHERIC NITROGEN IN BEANS

Abstract

Description of the subject: Our work was carried out with the aim of studying the effect of physical and chemical characteristics of three types of soil from different regions on the symbiotic fixation of atmospheric nitrogen.

Objective: : This study will highlight the influence of the nature of the soil on the growth and development of bean plants, as well as on the appearance of nodules and the density of symbiosis.

Methods: Physicochemical analyses of the soil, nitrogen, protein and chlorophyll assays were carried out. Thus observations on the roots in order to determine the density and the appearance of nodules.

Results: Results show that the physical and chemical nature of the soil has an influence on nodulation and measured biochemical parameters. thus the root asphyxia induced by S3 also prevents nodules and the plant-rhizobium bacteria symbiosis from establishing.

Conclusion: Variations in the recorded results confirm that plants act indiscriminately under edaphic conditions, in particular atmospheric nitrogen-fixing plants.

Keywords : *Phaseolus vulgaris*; atmospheric nitrogen; symbiosis; soil.

* Auteur correspondant: BENZAHERA soraya, E-mail: benzahra214@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'intérêt de la fixation biologique de l'azote par la culture des légumineuses a été mis en avant de longue date comme support de la fourniture d'azote aux systèmes cultivés et demeure stratégique dans le contexte actuel de mise au point de modes de production agricoles [1]. Les légumineuses sont des végétaux regroupés dans la famille des Fabacées (Fabaceae). Ces espèces sont notamment utilisées dans les secteurs de l'agronomie car riches en protéines (haricot, pois, lentille, soja, trèfle, luzerne...), en agroforesterie (production de bois, huiles, résines...) et également dans la restauration des sols dégradés [2]. Les légumineuses se déclinent en six sous-familles [3]. Elles sont importantes pour les secteurs de l'agriculture, l'agronomie, l'agroforesterie et la restauration de sols dégradés, notamment grâce à leur capacité symbiotique de fixer de l'azote atmosphérique (N₂) en s'associant avec des bactéries spécialisées du sol : les rhizobia [4]. Les symbioses rhizobium-légumineuses permettent de fixer le N₂ et de le transformer en ions ammonium (NH₄⁺), une forme azotée assimilable par la plante. Néanmoins, la fixation d'azote est sujette aux conditions environnementales telles que la température, la salinité, le pH, l'humidité, le manque de nutriments ou encore la toxicité métallique, pouvant affecter l'état physiologique de la plante hôte ou impacter la communauté rhizobienne, influençant de manière (in)directe le taux de fixation d'azote [5]. De plus, certains environnements limitent le développement de la flore, tels que des milieux arides, alpins, infertiles ou riches en éléments traces métalliques (ETM). Dans ces milieux, les plantes capables d'établir ces symbioses peuvent présenter un avantage compétitif et certaines d'entre elles sont utilisées en tant que plante hôte (plus connues sous le terme de plantes nurse en anglais) pour restaurer des sols dégradés, afin de faciliter la réintroduction d'espèces locales [6]. L'azote (N) est un élément clé pour le vivant puisqu'il est fondamental dans la composition de l'ADN, des protéines et des enzymes. Sa forme la plus abondante, le diazote atmosphérique (N₂), constitue 79% du volume de l'air, mais n'est pas directement assimilable par la majorité des êtres vivants. L'azote est ainsi considéré comme l'un des premiers facteurs limitant du développement de la vie [7]. Les processus naturels majeurs capables de former de l'azote bio-disponible

sont la foudre (environ 5 Tg de N par an) et la fixation biologique dans les écosystèmes terrestres et aquatiques, à hauteur de 198 Tg de N par an [8]. La communauté bactérienne est également influencée par les paramètres du sol [9]. Parmi les bactéries du sol, les rhizobiums sont influencés par des facteurs abiotiques, tels que la salinité, l'humidité du sol. [10]. Des études ont démontré que les conditions du sol, peuvent impacter le développement de la plante, la communauté rhizobienne du sol, ainsi que le fonctionnement de la fixation biologique de l'azote [5]. L'objectif de cette étude est de mettre en évidence l'effet des caractéristiques physico chimiques du sol sur la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique chez le Haricot. En effet l'essai consiste à mettre à la disposition des plantes trois types de sol de nature déférente, le premier est un sol limono-sableux, le second est un sol limoneux très fin, et le troisième est sol sablo-limoneux ; afin de déterminer la résistance de la symbiose aux conditions édaphique. Ainsi de mettre en relief l'influence du sol sur le comportement éco physiologique du haricot : (*Phaseolus vulgaris*), et sur l'apparition des nodosités et la densité de la symbiose.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est une légumineuse : le haricot (*Phaseolus vulgaris*) est une espèce glycophytes qui se développe rapidement. La variété testée est El Djadida, très cultivée en Algérie.

2. Conduite de l'expérimentation

2.1. Conditions climatiques

L'expérimentation s'est déroulée sous serre, à la station expérimentale de l'université de Blida -1-. C'est une zone sublittoral caractérisée par un climat relativement doux, avec une forte chaleur au mois de juillet et août et des déficits hydriques à partir du printemps (avril, mai).

2.2. Conditions édaphiques

Des analyses physico-chimiques ont été effectuées sur les sols utilisés afin de les caractériser. Ces analyses ont été réalisées au laboratoire de pédologie du département de Biotechnologie et Agroécologie de l'université de Blida -1-. A savoir : L'analyse granulométrique. Elle correspond à l'une des caractéristiques fondamentales nécessaires pour établir une classification des sols. Détermination des propriétés chimiques de la

solution du sol. Et la détermination de la matière organique.

2.3. Paramètres étudiés

L'azote total est dosé par la méthode Kjeldahl (1883). Le principe de la réaction est basé sur la minéralisation des échantillons puis la distillation. Tandis que Les protéines sont dosées par la méthode de Bradford (1976). Des extractions de sucre soluble ont été faites selon la méthode de Drewood (1986). Un arrachage des racines a été effectué afin de compter le nombre des nodules apparues pour chaque traitement.

3. Analyse des données

Les données obtenues sont soumises à une analyse de la variance à un facteur étudié (type du sol). Les moyennes sont comparées selon la méthode de Newman et Keuls qui est basée sur la plus petite valeur significative, réalisés par le logiciel XLSTAT. On considère que les résultats sont significatifs quand ($\alpha \leq 0,05$).

RÉSULTATS

1. Caractéristiques des sols étudiés

1.1. Granulométrie

Des analyses granulométriques ont été effectuées pour les sols étudiés afin de déterminer la texture favorable pour le bon développement de chevelu racinaire des plantes du haricot. La répartition des particules pour chaque sol montre qu'il y a une différence entre les sols expérimentés. Le sol S1 représente 75%

du sable dont 54% sable fin, 17,2% de limons et 7,8% d'argile. Le 2^{ème} sol S2 présente 56,7% de sables et 38,6% de limons dont 31,3% limons fins et 4,7% d'argile. Et le sol S3 présente 4,35% d'argile, 7,31% de sables, et la majorité de sa composition granulométrique de limons avec 88,34% dont 85,67% de limons grossiers (tableau 1).

Tableau 1: caractéristiques physiques des sols étudiés

Type du sol	Composition granulométrique				
	Argile (%)	Limons (%)		Sables (%)	
		Fins	Grossiers	Fins	Grossiers
S1	7,78±0,11	15,17±0,10	2,03±0,17	54,20±2,85	20,82±2,41
S2	4,7±0,20	31,30±0,08	7,30±0,12	18,8±1,08	37,9±1,84
S3	4,35±0,18	2,67±0,11	85,67±1,34	3,21±0,09	4,10±0,34

S1 ; S2 ; S3 : sols étudiés

D'après les données des analyses physiques, des diagrammes des textures ont été établis pour chaque sol. Les résultats illustrés dans la figure ci-dessous (Fig. 1) montrent que le premier sol S1 est de nature sablo-limoneuse dont 83% du sable et 17,2% du limon, le sol S2 a une texture limono-sableux assez équilibrée où le limon représente 38,6% et le sable 56,7%. Et enfin le sol S3 est de nature limoneuse, principalement des limons grossiers 85,67% ce qu'il le rend asphyxiant.

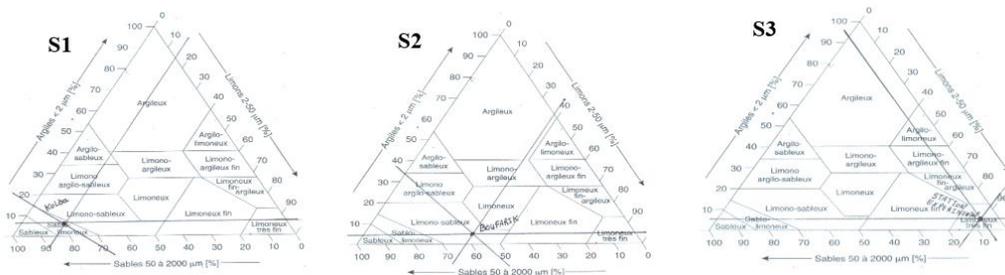


Figure 1 : Diagrammes de texture des sols étudiés

1.2. Caractéristiques chimique du sol

Les analyses chimiques des sols révèlent les résultats suivants : concernant la matière organique le sol S1 est considéré comme pauvre avec une valeur de 1,05%. Le sol S2 est riche en matière organique avec une teneur de 2,85%. Alors que le substrat S3, avec une valeur de 2,5%, est considéré déficitaire en matière organique. Il est souhaitable d'avoir 3,5% de matière organique pour un sol où les limons dépassent 30%. Les substrats S2, S3 sont dépourvus en calcaire, exception faite pour le

sol S1 qui contient une faible quantité de 3.8% de CaCO₃. Cette quantité est inférieure à 5%. Donc le sol est aussi dépourvu en calcaire actif. Les sols S1 et S3 sont légèrement acides, avec un pH de 6,9 et de 6,75 respectivement. Le pH du sol S2 est de 7,3 proches de la neutralité. La CE de S2 est de 1,12 mmho/cm, valeur inférieure à 2 mmho/cm considéré comme un sol non salin. Pour une CE de 9,17 mmho/cm pour S1 et 8,09 mmho pour S3, valeurs supérieures à 8 mmho/cm, sont considérés comme des sols salins.

Le rapport C/N représente le degré de l'activité biologique du sol. Une bonne activité biologique correspond à un rapport C/N >10, Les sols S1 et S2 ont un rapport C/N supérieur à 10 avec respectivement 11,9 et 12,4 donc ont une bonne activité biologique. Concernant les valeurs de l'humidité obtenues, nous remarquons une différence entre les sols étudiés ($p < 5\%$). Le sol S1 est un sol fortement humide, avec un pourcentage de 34,87 supérieur à 25%, bien que les arrosages soient espacés.

Les sols S2 et S3 présentent des taux d'humidité très faibles avec 15,78% et 13,7% respectivement, donc ils se dessèchent rapidement ; Les résultats obtenus montrent que les sols S1, S3, ont des teneurs en potassium inférieures à 0,25 meqK/100g du sol. Nous déduisons que ce sont des sols déficitaires en potassium, Les trois types des substrats étudiés sont excessivement pourvus en phosphore. Ils ont en moyenne une valeur supérieure à 56 p.p.m (tableau 2).

Tableau 2: Caractéristiques chimiques des sols étudiés

Type du sol	Composition chimique									
	Mo(%)	CaCO ₃ (%)	pH	C.E mmho/cm	H(%)	N(%)	C(%)	C/N	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O(meqK/100g sol)
S1	1,05±0,11	3,8±0,98	6,9±0,2	9,17±0,45a	34,87±2,34a	0,04±0,01	0,5±0,09	11,9±1,33a	72,55±2,11a	0,13±0,04
S2	2,85±0,09	0	7,3±0,21	1,12±0,63c	15,78±1,34b	0,13±0,11	1,6±0,12	12,4±1,21a	73,52±2,80a	0,32±0,10
S3	2,05±0,13	0	6,75±0,50	8,09±0,52ab	13,7±1,45c	0,16±0,92	1,48±0,07	9,25±0,20b	64,9±2,31b	0,05±0,02

Mo : matière organique ; CaCO₃ : calcaire total ; H : humidité ; P₂O₅ : phosphore ; K₂O : potassium ; C : carbone ; N : azote ; C.E : conductivité électrique.

2. Nombre de nodosités

Le tableau ci-dessous représente l'effectif nodulaire par plante pour chaque substrat. Les nodosités ont été dénombré manuellement. On observe que les plantes réagissent indifféremment vis-à-vis les sols étudiés, où on remarque une différence significative ($p < 1\%$).

Les plantes issues des sols S1 et S2 représentent les valeurs les plus élevées avec 40,42 et 43,5 par rapport aux plantes issues du substrat S3 avec une valeur de 19,3, qui enregistrent une diminution de 47,74% et 44,36% respectivement de la population nodulaire par rapport aux S1 et S2 (tableau 3).

Tableau 3: Nombre des nodules par plant

Paramètre étudié	Substrats		
	S1	S2	S3
Nombre des nodules	40,42±4,09a	43,5±3,4a	19,3±3,11b

L'aspect général des racines du haricot arraché en fin de cycle est présenté dans la figure ci-dessous. La variation entre les traitements est très visible dans le nombre et la taille de l'effectif nodulaire. Les racines issues des substrats S1 et S2 présentent des nodules avec une taille volumineuse par rapport aux

traitements TS3, ce là est dû essentiellement aux caractéristiques physico-chimiques du sol qui influent sur la symbiose racinaire ; et à la taille chétive des racines qui agit négativement sur l'absorption hydrominérale des plantes et perturbe la croissance et le développement végétatif (Fig. 2).



Figure 2 : Aspect général des racines du Haricot représenté la population nodulaire

3. Teneur en matière azotée totale

L'azote est un facteur essentiel de la production végétale. Il occupe une place centrale dans tous les processus biologiques, et joue un rôle déterminant au niveau du rendement. L'azote total est dosé par la méthode Kjeldahl. Les plantes en dernier stade (stade gousses) sont utilisées pour le dosage. L'analyse de la variance montre une différence significative entre les moyennes obtenues ($p < 1\%$), où on

observe que les plantes cultivées sur les substrats S1 et S2 sont riches en azote avec respectivement 6,92 mg/ml et 6,34mg/ml, dû au nombre important des nodules sur leurs systèmes racinaires, favorisant la fixation de N₂, comparés au résultat obtenu par le substrat S3, qui est très faible avec une valeur de 3.36mg/ml cette valeur c'est le résultat d'un système racinaire chétif et moins développé (tableau 4).

Tableau 4: Teneur en azote total en mg/ml

Paramètre étudié	Traitements		
	S1	S2	S3
Teneur en azote total (mg/ml)	6,34±0,10a	6.92±0,18a	3.36±0,12b

4. Teneur moyenne en protéines solubles

Les résultats obtenus montrent une différence dans l'accumulation de la protéine ; entre les traitements étudiés ($p < 1\%$). Une accumulation importante pour les plantes issues du substrat S2 206 mg/ml, ainsi pour le substrat S1 198mg/ml. Ces valeurs sont le résultat d'une croissance normale où la plante évolue convenablement

son système racinaire et la symbiose nodulaire qui aboutit à une fixation d'azote atmosphérique non perturbée ; ce qui influe positivement sur la quantité de la protéine accumulée. En revanche cette quantité est diminuée chez les plantes issues du S3 où l'accumulation de l'azote est ralentie 126 mg/ml ; ce qui représente un taux réduit en protéine par rapport aux autres (tableau 5).

Tableau 5: Teneur en protéine soluble en mg/ml

Paramètre étudié	Traitements		
	S1	S2	S3
Teneur en protéine (mg/ml)	198±2,04a	206±1,2a	126±1,24b

5. Teneur moyenne en sucres solubles

Le contenu foliaire en sucres solubles a diminué chez les plantes cultivées sur le substrat S3 qui représente le taux le plus faible avec 4,4g/l ($p < 1\%$). Cette valeur est le résultat de l'arrêt du

développement de la plante en raison de la nature asphyxique du substrat S3. Les valeurs enregistrées pour les traitements S1 et S2 sont plus importantes avec 6,58g/l et 8,08g/l respectivement (tableau 6).

Tableau 6: Teneur en sucre soluble en g/l

Paramètre étudié	traitements		
	S1	S2	S3
Teneur en sucre soluble	6,58±0,98a	8,08±1,42a	4,46±1,65b

DISCUSSION

Le test granulométrique montre que le sol S1 est de nature sablo-limoneuse, Le substrat S2 a une texture équilibrée limono-sableuse et le substrat S3 est un sol limoneux et asphyxiant. Chauv & Foury [11], signalent que de bons rendements sont obtenus sur des sols sablo-limoneux, limono-sableux, voir sablo-humifère. Il est à noter que les sols franchement limoneux battant et asphyxiant sont à exclure. En effet par un

manque d'oxygène, la germination et la levée de la graine du haricot sont freinées. Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus pour les trois types de sol étudiés, montrent que le sol S2 est le plus favorable au bon développement des plantules et à la fixation biologique de l'azote atmosphérique. Selon Meyer *et al.* [12], ces résultats montrent que les trois types de sols étudiés présentent un pH favorable pour des échanges ioniques.

Le pH est un élément clé de la composition chimique du sol et détermine la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes et les microorganismes du sol [13]. Les substrats étudiés ont une teneur en matières organiques situent entre 1,05% et 2,8% considérées comme des valeurs normatives. La matière organique permet à la fois l'alimentation des plantes en libérant les éléments minéraux adsorbés et le stockage de ces éléments. Selon Hubert & Schaub [14], la matière organique joue un rôle physique dans le sol pour la cohésion, la structure, la porosité, la rétention ou le stockage de l'eau, etc.... Elle assure aussi un rôle biologique dans la stimulation de l'activité biologique (vers de terre, la biomasse microbienne). Enfin elle joue un rôle chimique dans la nutrition des plantes à travers des actions de dégradation, minéralisation, etc.... La matière organique améliore la structure du sol, augmente la rétention de l'eau et favorise la formation d'agrégats par son interaction avec les minéraux argileux, facilite le réchauffement du sol, et représente une source d'éléments nutritifs favorisant l'abondance microbienne et la croissance des plantes [15]. Le taux de carbone existant dans les sols étudiés varie d'un substrat à un autre, les trois substrats contiennent une quantité suffisante, Le carbone (C) est le principal composant de la MO qui elle représente la source principale de N pour les plantes agricoles [16]. Le rapport entre le carbone et l'azote (C/N) pour les trois substrats étudiés est élevé ce qui permet une bonne minéralisation de la matière organique. Les substrats étudiés sont riches en P assimilable, ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que, les sols étudiés présentent une teneur assez bonne en matière organique. Cette dernière permet à l'immobilisation du phosphore dans les sols. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Luciens *et al.* [17]. Les plantes réagissent différemment aux conditions pédologiques des sols étudiés, les résultats montrent que la texture du sol influencée la nodulation soit en qualité qu'en quantité. La nature asphyxiante du S3 réagit négativement sur l'apparition des nodules et donc sur la symbiose et la fixation de N₂. La communauté bactérienne est également influencée par les paramètres du sol [9]. Parmi les bactéries du sol, les rhizobies sont influencés par des facteurs abiotiques, tels que la salinité, l'humidité du sol et les éléments traces métalliques [10].

La fixation en symbiose avec des plantes hôtes comportant des structures en nodule est largement plus efficace que la fixation libre. Sauf pour les plantes fixatrices comme les légumineuses [16]. Les résultats de l'accumulation de l'azote, les protéines et les sucres solubles montrent qu'il y a une différence significative entre les trois traitements. Les plantes issues de troisième substrat S3 donnent les valeurs les plus faibles cela dû à leur système racinaire chétif et non développé, et le manque d'oxygène dans la rhizosphère ce qui conduit à une mauvaise absorption hydrominérale ce qui influe sur la photosynthèse et de l'accumulation des substances organiques dans la partie aérienne de la plante. Selon Emamverdian *et al.* [5], l'état physiologique de l'hôte (dans notre cas le végétal) va conditionner le fonctionnement de la symbiose fixatrice d'azote. Les travaux de Bryan [18], montrent que Les rhizobiums sont donc potentiellement influencés par les conditions du sol. Ainsi les travaux d'Emamverdian *et al.* [5] montrent que Les symbioses rhizobium-légumineuses permettent de fixer le N₂ et de le transformer en ions ammonium (NH₄⁺), une forme azotée assimilable par la plante. Néanmoins, la fixation d'azote est sujette aux conditions environnementales telles que la température, la salinité, le pH, l'humidité, le manque de nutriments ou encore la toxicité métallique, pouvant affecter l'état physiologique de la plante hôte ou impacter la communauté rhizobienne, influençant de manière (in)directe le taux de fixation d'azote. De même un dysfonctionnement de la photosynthèse, perturbe l'établissement de la symbiose [19]. Cependant, il ne faut pas oublier que le fonctionnement de cette symbiose est sujette aux conditions environnementales et certains paramètres du sol qui peuvent affecter l'état physiologique de la plante hôte ou impacter la communauté rhizobienne, influençant de manière directe ou indirecte le processus de fixation d'azote [5].

CONCLUSION

Le travail a mis en évidence l'importance de la nature du sol sur le développement et la formation des symbioses fixatrices d'azote chez le Haricot. Les sols étudiés présentent des propriétés physico-chimiques différentes. Dont la texture variée de limono-sableuse, sablo-limoneuse à un sol franchement limoneux.

Les résultats nous permettent d'affirmer que le sol le plus favorable au développement des plantes du haricot et plus précisément pour l'infection symbiotique des rhizobiums et la formation des nodosités, est de nature limoneuse voire sableuse ou limoneuse, les sols limoneux asphyxiant à éviter. En outre, les teneurs en substances organiques produites par la végétale à savoir les protéines, les sucres et en azote, ont à nouveau confirmés la particularité du substrat dans l'évolution morpho-physiologiques des plantes. Il existe une corrélation entre la mise en place de la symbiose et les paramètres physico-chimiques de la rhizosphère.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Thiébeau P., L pelzer E., Klumpp K., Corson M., Hénault C., Bloor J., de Chezelles E., Soussana J.F., Lett J.M., Jeuffroy M.H., (2010). Conduite des légumineuses pour améliorer l'efficacit nerg tique et réduire les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle de la culture et de l'exploitation agricole. *Innovations Agronomiques* 11, 45-58
- [2]. Yahara T, Javadi F, Onoda Y, de Queiroz LP, Faith DP, Prado DE, Akasaka M, Kadoya T, Ishihama F, Davies S, et al. (2013). Global legume diversity assessment : Concepts, key indicators, and strategies. *Taxon* 62 ; pp 249–266.
- [3]. Azani N, Babineau M, Bailey CD, Banks H, Barbosa AR, Pinto RB, Boatwright JS, Borges LM, Brown GK, Bruneau A, et al. (2017). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny The Legume Phylogeny Working Group (LPWG). *Taxon* 66 : 44–77.
- [4]. Graham PH, Vance CP. (2003). Legumes : importance and constraints to greater use. *Plant Physiology* 131 :pp. 872–877.
- [5]. Emamverdian A, Ding Y, Mokhberdorran F, Xie Y. (2015). Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. *The Scientific World Journal* : 18.
- [6]. Padilla FM, Pugnaire FI. (2006). The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and the Environment*. pp.196–202.
- [7]. Galloway JN, Aber JD, Erisman JW, Seitzinger SP, Howarth RW, Cowling EB, Cosby BJ. (2003). The nitrogen cascade. *BioScience* 53. Pp. 341–356.
- [8]. Fowler D, Coyle M, Skiba U, Sutton MA, Cape JN, Reis S, Sheppard LJ, Jenkins A, Grizzetti B, Galloway JN, et al. 2013. The global nitrogen cycle in the twenty-first century. *Phil. Trans. R. Soc. B* 368 : 20130164.
- [9]. Fierer N, Jackson RB. (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103 : pp. 626–631.
- [10]. El-Hamdaoui A, Redondo-Nieto M, Torralba B, Rivilla R, Bonilla I, Bola os L. (2003). Influence of boron and calcium on the tolerance to salinity of nitrogen-fixing pea plants. *Plant and Soil* 251 : pp. 93–103.
- [11]. Chaux C. et Foury C. (1994). -production l gumi re, ed J.B. Balli re et Fils. Paris.pp.83-134.
- [12]. Meyer S. Claud M. et Ripert G.. (2004). - Botanique ; biologie et physiologie végétale, ed Maloine. 16, 30, 68, 69, 70, 137, 140, 323p
- [13]. Borah, K.K., Bhuyan, B., Sarma, H.P., (2010)). Lead, arsenic, fluoride, and iron contamination of drinking water in the tea garden belt of Darrang district, Assam, India. *Environmental monitoring and assessment* 169, 347-352p.
- [14]. Hubert, G., Schaub, C., (2011). La fertilisants des sols. L'importance de la matière organique. *Chambre d'Agriculture, BasRhin. Service Environnement-Innovation*, p46
- [15]. Blanchet, G., Gavazov, K., Bragazza, L., Sinaj, S. 2016. Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 230: pp. 116–126.
- [16]. Thivierge, M.-N., Chantigny, M.H., Seguin, P., Vanasse, A. 2015. Sweet pearl millet and sweet sorghum have high nitrogen uptake efficiency under cool and wet climate. *Nutr Cycl Agroecosyst*. 102: 195–208.
- [17]. Luciens, N.K., Yannick, U.S., Michel, M.M., David, B.M., Emery, K.L., Louis, B.L., (2012). Effets des apports des doses variées de fertilisants inorganiques (NPKS et Urée) sur le rendement et la rentabilité économique de nouvelles variétés de Zea mays L.   Lubumbashi, Sud-Est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences* 59, pp. 4286-4296
- [18]. Bryan V, (2018). Contribution de la symbiose fixatrice d'azote dans l'adaptation d'une légumineuse à des sols contrastés : le modèle Acacia spirorbis et les contraintes édaphiques extrêmes rencontrées en Nouvelle-Calédonie. *Sciences agricoles. Université Montpellier. France*.p102.
- [19]. Brockwell J., Bottomley PJ, Thies JE. (1995). Manipulation of rhizobia microflora for improving legume productivity and soil fertility : a critical assessment. *Plant and Soil* 174 : pp. 143-180.