

**Mathéo Civel**  
**Etudiant ingénieur 2ème année**



# **Effet de l'utilisation du biochar sur la nodulation et la production de biomasse de fèves (*Vicia faba* L.)**

**Stage réalisé à la Mollesnejta – Centre  
d'Agroforesterie Andine – Bolivie**

**Juin – Aout 2019**



**Stage préoptionnel option Calice 2019-2020**

**Référent de stage : Noémi Stadler-Kaulich**

**Référent VetAgro Sup : Nathalie Vassal**

*L'étudiant conserve la qualité d'auteur et d'inventeur au regard des dispositions du code de la propriété intellectuelle pour le contenu de ce rapport et assume l'intégralité de sa responsabilité civile, administrative et/ou pénale ou de toute faute administrative ou pénale. Il ne saurait, en aucun cas, seul ou avec des tiers, appeler en garantie VetAgro Sup.*

## Table des matières

Remerciements.....	3
Introduction.....	4
1. Le Centre d'Agroforesterie Andine – La Mollesnejta.....	5
1.1. Présentation.....	5
1.2. Partenariats et collaborations.....	6
2. Étude réalisée : Effet de l'utilisation de biochar activé avec de l'urine humaine sur la nodulation et la production de biomasse de <i>Vicia faba L.</i> .....	7
2.1. Résumé / Abstract.....	7
2.2. Introduction.....	7
2.3. Matériel et méthodes.....	9
2.4. Résultats.....	10
2.5. Discussion.....	12
2.6. Conclusion.....	14
Conclusion.....	15
Bibliographie.....	16

## Remerciements

Je veux remercier Noémi Stadler-Kaulich pour son accueil, le temps qu'elle a pu me consacrer et surtout pour toutes les connaissances qu'elle a pu me transmettre au cours de nos échanges.

Je remercie également Thomas pour ses conseils, ses indications, pour m'avoir laissé continuer l'expérimentation qu'il avait commencé et pour les réponses rapides à toutes mes questions.

Je remercie tout les volontaires qui sont passés à la Mollesnejta et avec qui j'ai pu partager mes interrogations et apprendre également beaucoup.

Enfin, je remercie VetAgro Sup d'avoir permis ce stage en Bolivie, formateur et dépaysant.

# Introduction

Avant de commencer la troisième année d'ingénieur à VetAgro Sup, les élèves ingénieur réalisent un stage pré-optionnel de 8 semaines minimum. Ce stage est donc pour moi un préalable à l'entrée en option CALICE. Afin de répondre au cahier des charges de l'option, ce stage est réalisé dans le domaine de l'expérimentation dans le cadre d'activité de recherche-développement ou de recherche plus fondamentale. L'objectif de ce stage est la compréhension de l'organisation et de la mise en œuvre d'activité de recherche. Il s'agit également d'une opportunité pour découvrir le monde de la recherche scientifique et ainsi acquérir des compétences en méthodologie et en rigueur scientifique. Il s'agit enfin de se forger un point de vue sur ce qu'est la recherche actuellement en France ou dans d'autres pays de monde.

J'ai donc choisi d'effectuer ce stage dans une structure de recherche à l'étranger ayant déjà eu une expérience dans ce domaine en France. Je voulais également réaliser un stage en lien avec l'agroforesterie afin d'approfondir ma connaissance dans ce domaine car les systèmes agroforestiers peuvent avoir un intérêt dans un contexte de réchauffement climatique et de limitation de l'utilisation des ressources (apports par les feuilles des arbres, création d'un microclimat sous l'ombre des arbres, couverture permanente du sol...).

Ce stage s'est donc effectué du 17 juin au 16 août 2019 au Centre Andin d'Agroforesterie – La Mollesnejta. Cette structure est située sur les hauteurs de Cochabamba à 2750m d'altitude en Bolivie. Il s'agit d'une ferme agroforestière qui mène des activités de recherche sur les systèmes agroforestiers en zone andine semi-aride. Mon temps de présence dans ce centre était donc en pleine saison hivernale, saison caractérisée par un climat très sec (pas de précipitations pendant mes deux mois de présence) et relativement chaud (25°C en journée).

J'ai eu plusieurs missions pendant ce stage mais la principale que je développerai dans ce rapport était l'étude de l'effet d'un amendement à base de biochar sur la fixation d'azote de fèves. Le biochar, fabriqué sur place à partir de la taille des arbres, est du charbon utilisé comme amendement pour les plantes et pour les arbres. Le biochar utilisé à la Mollesnejta est « activé » par l'adjonction d'urine lors de son refroidissement ce qui permet de l'enrichir notamment en phosphore.

Dans ce rapport, je vais décrire dans un premier temps la structure dans laquelle j'ai réalisé mon stage, le centre d'agroforesterie andine – La Mollesnejta, puis dans un second temps je développerai la mission qui m'a été confiée et les résultats obtenus.

# 1. Le Centre d'Agroforesterie Andine – La Mollesnejta

## 1.1. Présentation

Le Centre d'Agroforesterie Andine – La Mollesnejta est situé à 2750m d'altitude sur les hauteurs de la ville de Cochabamba en Bolivie. Le centre s'étale sur une surface de 16ha sur les flanc de la cordillère Tunari. Cette espace a été acquis en 1999 par Noemi Stadler-Kaulich un ingénieur agronome allemande. A cette époque, ce lieu était très dégradé dû à un surpâturage pendant de nombreuses années. Ainsi, le terrain était très sensible à l'érosion et très peu de végétation poussait (Fig.1). En acquérant ce lieu, Noemi Stadler-Kaulich veut montrer que les systèmes agroforestiers sont capable de restaurer des sols dégradés et permettent une production durable c'est à dire protégeant les ressources naturelles (l'eau, le sol, l'air et la biodiversité). Le climat de la région semi-aride est un enjeu supplémentaire car les précipitations sont rares et peu importantes particulièrement en période hivernale (Fig.2). Il s'agit donc d'une initiative privée portée par une personne : Noémi Stadler-Kaulich.



Figure 1: Le terrain de Mollesnejta à l'arrivée de Noémi (Source:mollesnejta.org)

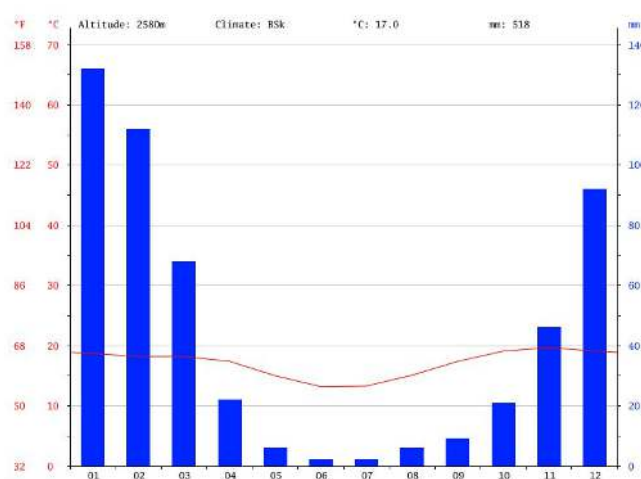


Figure 2: Diagramme des précipitations et de la température à Cochabamba (source: climate-data.org)

En août 2017, le centre a subi un grand incendie qui a brûlé la majorité des arbres plantés. Les activités du centre ont donc été remises en question mais celles-ci ont finalement continué avec une nouvelle activité de recherche s'articulant autour de la restauration d'un site agroforestier après un incendie.

Aujourd'hui, le site est en pleine restauration avec de nombreuses plantations nouvelles et la plupart des arbres sont jeunes voir très jeunes (moins de 3 ans). Différentes associations d'arbres sont présentes sur le site afin de tester différents systèmes agroforestiers. L'agroforesterie en place sur le site est principalement expérimentée sur des arbres fruitiers, peu de cultures sont présentes. En effet, du fait du climat très sec les cultures autres qu'arbres nécessiteraient une irrigation régulière et importante ce qui va à l'encontre de l'objectif de cette structure qui est d'être la plus économe en ressource possible.

Le centre accueille des volontaires qui viennent pour travailler sur la ferme et découvrir l'agroforesterie. Des étudiants sont également accueillis pour des stages où ceux-ci vont pouvoir mener des recherches sur des sujets qui les intéressent ou que Noémi Stadler-Kaulich a identifiés au préalable. Les étudiants sont autonomes dans leurs recherches : ils mettent ainsi au point leurs protocoles et analysent leurs résultats de manière autonome. Il s'agit de la principale source de production de références du site.

## **1.2. Partenariats et collaborations**

Le Centre d'Agroforesterie Andine – La Mollesnejta est en relation avec de nombreux organismes en Bolivie mais également à travers le monde.

Le centre dispose d'un partenariat avec une des principales universités de Cochabamba, l'Université Catholique de Bolivie (UCB). Ce partenariat se traduit par l'accueil de nombreux stagiaires issus de l'UCB à La Mollesnejta et d'une entente pour publier les résultats issus de ces stages au nom des deux entités. Grâce à ce partenariat, les étudiants réalisant un stage au sein de La Mollesnejta peuvent également accéder aux laboratoires de l'UCB. Un partenariat similaire est en train de naître avec l'Université Mayor de San Simon (UMSS) à Cochabamba, une des principales universités du pays.

Le centre est en lien avec une ONG, la fondation Agrecol Andes dont l'objectif est le développement de l'agroécologie en Bolivie et au Pérou. Cette organisation permet de former des paysans aux techniques agroforestières et ainsi de diffuser les connaissances acquises à La Mollesnejta. Noémi Stadler-Kaulich fait d'ailleurs partie de cette organisation.

La Mollesnejta fait partie d'un réseau rassemblant universités, ONG (Agrecol Andes) et fermes expérimentales de Cochabamba, le réseau ECOSAF qui signifie « Espacio Compartido en los Sistemas Agroforestales ». Ce réseau constitue un espace d'échange entre les principaux acteurs de l'agroforesterie du territoire et permet également l'organisation du congrès national de l'agroforesterie chaque année. Il s'agit là encore d'un moment pour partager les expériences et les résultats obtenus.

Enfin, Noémi Stadler-Kaulich est en lien avec de nombreux enseignants-chercheurs de différentes universités d'Allemagne où elle retourne chaque année pour donner des cours sur l'agroforesterie. Des ces liens naissent également de temps en temps des partenariats pour mettre en place des expérimentations en Bolivie.

Le financement du site est quand à lui uniquement privé ; en effet, la seule source de financement de la structure est Noémi Stadler-Kaulich. Il n'y a pas d'autres sources de financements du site.

## **2. Étude réalisée : Effet de l'utilisation de biochar activé avec de l'urine humaine sur la nodulation et la production de biomasse de *Vicia faba L.***

### **2.1. Résumé / Abstract**

#### **Abstract**

This study investigates the effects of biochar activated with human urine on nodulation (and thus on nitrogen fixation) and biomass production of broad bean (*Vicia faba L.*). Three modalities were applied for the addition of biochar : 0 (control), 42 and 85 g/kg soil. The broad beans grew in pots in order to be able to count the nodules for each plant. The number of nodules increases by 137% with the addition of biochar for 42g/kg and 85g/kg compared to the control. There is no graduation in the dose increase. However, it can be observed that the proportion of nodules larger than 5mm is 105% higher for the 42g/kg dose compared to the control and the 85g/kg dose. We therefore have a higher nitrogen fixation of the air by the plant with biochar and particularly for the 42g/kg dose. Biomass production increases by 48% and 28% respectively for the 42g/kg and 85g/kg soil doses compared to the control. There is a threshold effect at which when the dose of activated biochar increases the positive effect of activated biochar decreases. These results suggest the potential of using activated biochar in agriculture to improve nitrogen fixation by legumes. However, this study points the need for further investigation in field, longer-term and on non-leguminous species to better understand the effects of activated biochar on production.

#### **Résumé**

Cette étude s'intéresse aux effets du biochar activé avec de l'urine humaine sur la nodulation (et ainsi sur la fixation d'azote) et la production de biomasse de plants de fèves (*Vicia faba L.*). Trois modalités ont été appliquées pour l'ajout de biochar à 0 (témoin), 42 et 85 g/kg de sol. Les fèves ont poussé en pot afin de pouvoir compter les nodosités pour chaque plant. Le nombre de nodosité augmente de 137 % avec l'addition de biochar pour 42g/kg et 85g/kg en comparaison avec le témoin. Il n'y a pas de graduation dans l'augmentation de la dose. On observe toutefois que la proportion de nodosité de taille supérieure à 5mm est 105 % plus importante pour la dose de 42g/kg par rapport au témoin et à la dose de 85g/kg. On a donc une fixation d'azote de l'air par la plante plus importante avec le biochar et particulièrement pour la dose de 42g/kg. La production de biomasse augmente de respectivement 48 % et de 28 % pour les doses 42g/kg et 85g/kg de sol par rapport au témoin. Il y a un effet seuil à partir duquel lorsque la dose de biochar activé augmente l'effet positif du biochar activé décroît. Ces résultats laissent entrevoir le potentiel de l'utilisation du biochar activé dans l'agriculture pour améliorer la fixation d'azote par les légumineuses. Il pointe toutefois le besoin de réaliser d'autres études en plein champ, à plus long terme et sur des espèces non-légumineuses pour mieux comprendre les effets du biochar activé sur la production.

### **2.2. Introduction**

Lors d'une combustion de biomasse en l'absence ou avec peu d'oxygène, on obtient une matière riche en carbone organisé sous des formes aromatiques très stables. On appelle génériquement cette matière charbon bien que ce mot puisse désigner un nombre très grand de



matières différentes. Le biochar est encore mal défini mais on considère généralement qu'il s'agit de charbon dérivé de biomasse destiné à être utilisé comme amendement pour le sol (Sohi et al., 2010). Le biochar est donc plus défini par son utilisation que par sa nature. Ainsi, cette appellation désigne un grand nombre de matières dont les caractéristiques et les effets sur le sol et les plantes peuvent varier grandement (Novak et al., 2009).

L'utilisation de biochar dans la fertilisation des sols n'est pas un phénomène nouveau. En effet, on trouve des particules de charbon dans de nombreux sols. L'origine de ces particules peut-être naturelle : les produits issus de la combustion incomplète de biomasse lors d'incendies par exemples (Bird et al., 1999; Wardle et al., 1998). Mais ces particules peuvent être également avoir été incorporée de manière intentionnelle par l'homme. C'est par exemple le cas des sols d'Amazonie appelés terra preta ou Amazonian dark earths qui ont été formés à partir de l'adjonction de charbon dans le sol ainsi que d'autres éléments (déjections, déchets organiques, morceaux de poterie..). Il s'agissait en fait pour les communautés ayant formé ses sols de se débarrasser de tous les déchets qu'elles produisaient et de les redonner à la terre (Myers et al., 2003). Cette ajout de biochar dans ces sols pauvres d'Amazonie permet une augmentation des rendements des cultures et l'amélioration de certains indicateurs de la qualité du sol .

Cependant, on observe une baisse de la disponibilité en azote (N) dans ces sols par rapport aux sols proches ainsi qu'une baisse de la concentration foliaire en N des cultures non légumineuses. Ainsi, chez les légumineuses, on n'observe pas les effets de cette limitation de la disponibilité en N et la nodulation est même significativement plus importante dans la terra preta que dans les sols proches . Ceci nous permet de penser que la fixation d'N de l'air par les légumineuses et renforcée par la présence de biochar dans le sol. Cette affirmation est renforcée par différentes études. En effet, il a été montré que la fixation d'N de la luzerne est augmentée de 15 % en présence de biochar (Nishio and Okano, 1991). De plus, Rondon et al., ont également expérimenté l'effet de l'ajout de différentes proportions de biochar sur la fixation d'N de haricots communs (*Phaseolus vulgaris L.*) et ont observé une augmentation de 49 et 78 % pour les proportions de 30 et 60 g.kg<sup>-1</sup>. Ils se sont également intéressés à la production de biomasse qui elle augmente également en cas d'adjonction de biochar jusqu'à 60g.kg<sup>-1</sup>. En revanche à partir de 90g.kg<sup>-1</sup> les effets positifs du biochar deviennent négatifs : en effet, à cette dose les fixation d'N baisse par rapport au contrôle et la production de biomasse également (Rondon et al., 2007). On peut expliquer cette augmentation de la fixation d'N principalement par une augmentation de la disponibilité en molybdène (Mo) (constituant de la nitrogénase) et en bore (B) et dans une moindre mesure par la baisse de disponibilité en N (Rondon et al., 2007).

Ainsi, déjà un certain nombre d'études ont étudié la relation entre biochar et fixation d'N par les légumineuses. En revanche, aucune étude n'a utilisé un biochar fabriqué artisanalement comme il pourrait-être produit chez un paysan. De plus, le biochar utilisé dans ces études n'est pas activé. En effet, il est possible d'activer le biochar en le refroidissant avec de l'urine humaine afin d'améliorer sa teneur en azote et ainsi de limiter la réduction de la disponibilité en azote liée à l'adjonction du biochar (Sandoval Yanez, 2019).

Nous allons donc nous intéresser ici à l'impact de différentes doses de biochar artisanal et activé avec de l'urine humaine sur la nodulation de plants de fèves (*Vicia faba L.*) et leur production de biomasse.

## 2.3. Matériel et méthodes

### Terre et conditions d'expérimentation

L'expérimentation a été menée à la Mollesnejta – Centre d'Agroforesterie Andine sur la commune de Combujo en Bolivie à 2700m d'altitude sur la période du 15 avril au 26 juin 2019. Le sol utilisé pour cette expérimentation est caractérisé par une proportion de sable importante et par un pH autour de 7 donc neutre (Tableau 1).

Texture			Acidité	Capacité d'échange cationique (méq/100g)
Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	pH	
17	18	65	7,08	13,5

Tableau 1: Caractéristiques du sol

La terre utilisée provient d'une parcelle de la Mollesnejta. Celle-ci a été tamisée avant d'être utilisée. Le biochar a ensuite été incorporé en deux proportions différentes dans la terre : 42g/kg et 845g/kg. Un dernier groupe, le témoin n'a pas reçu de biochar.

### Caractérisation du biochar

Le biochar utilisé est issu de la pyrolyse de bois de taille de la Mollesnejta. Ce biochar est fabriqué avec un four à rideau de flamme de type Kon-Tiki comme décrit par l'Ithaka Institute (Ithaka Institute, 2019). Le biochar est refroidit en versant de l'urine humaine dessus afin de l'activer et de l'enrichir en azote. Le volume d'urine versé représente la moitié du volume total de biochar : une proportion de 1:2. On obtient ainsi une proportion de 0,41 % d'azote total dans le biochar de la Mollesnejta (Sandoval Yanez, 2019).

### Gestion des plants

Cents graines de fèves (*Vicia faba L.*) ont été plantés le 15 avril 2019 toutes dans la même terre. À l'âge de 21 jours, 30 plants sont sélectionnés de manière à éliminer les plus grands plants et les plus petits ; afin d'obtenir un groupe homogène. Ces 30 plants sont séparés en trois groupes (10 plants par groupe). Ces plants sont ainsi repiqués dans des pots avec trois modalités : un témoin sans biochar, un groupe avec 42g/kg (modalité 1) de biochar et un groupe avec 85g/kg (modalité 2). Les plants sont disposés ensembles dans une pépinière de manière à ce que les plants de chaque groupe ne soient pas cote à cote. Les plants sont arrosés deux fois par semaine. À l'âge de 72 jours, les plants sont retirés de la terre et de leurs pots en prenant soin de conserver les racines.

### Récolte des données sur les plantes

Pour chaque plante, on nettoie les racines de la terre restante dans de l'eau. Pour chaque groupe, on compte ensuite le nombre de nodosités présentes sur les racines. Nous avons choisi de différencier ses nodosités selon leur taille. Nous avons donc constitué trois groupes : <2mm, 2-5mm et >5mm. La mesure de la taille des nodosités est faite à l'aide d'un pied à coulisse.

Pour mesurer la biomasse de chaque plante, on s'intéresse à la biomasse des racines et à la biomasse de la partie aérienne. Les plantes sont donc séparées en deux groupes : racines et partie aérienne. Elles sont ensuite séchées pendant 24h à 70°C puis pesées.

## Analyses statistiques

Les principaux effets ont été calculé à partir du test de wilcoxon et de l'analyse de la variance par l'utilisation du logiciel R. Le seuil de signification choisi est de 5 %.

## 2.4. Résultats

### Nombre et taille des nodosités en fonction de la dose de biochar

Le nombre de nodosités total augmente en présence de biochar (Figure 3). En effet, l'ajout de biochar augmente le nombre de nodosités jusqu'à 137 % pour la dose de 42g/kg. En revanche on n'observe pas d'augmentation supplémentaire avec l'augmentation de la dose de biochar.

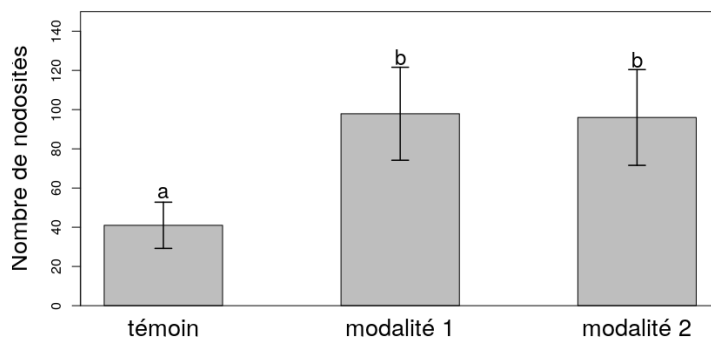


Figure 3: Nombre de nodosités totales selon la modalité appliquée

Le diamètre des nodosités reste quand à lui stable avec une légère augmentation des « grosses » nodosités (>5mm) pour la modalité 1 (dose de 42g/kg de biochar). En effet, en analysant les proportions de chaque groupe de taille de nodosité, on remarque que la proportion reste la même peu importe la modalité à l'exception des nodosités >5mm qui augmentent significativement par rapport au témoin mais aussi par rapport à la modalité 2 (Fig.4, Fig.5, Fig.6). On observe ainsi une augmentation de 105 % de la proportion de nodosités de taille supérieure à 5mm pour une dose de 42g/kg de biochar par rapport au témoin sans biochar.

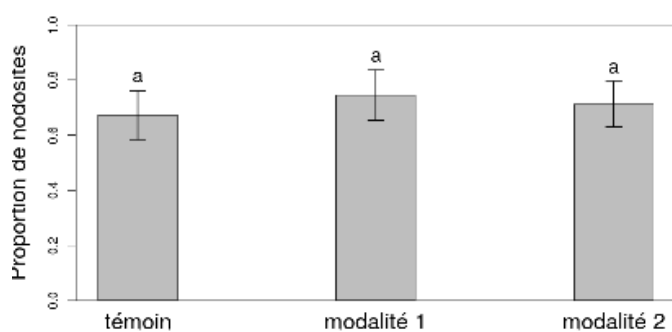


Figure 4: Proportion de nodosités de taille <2mm

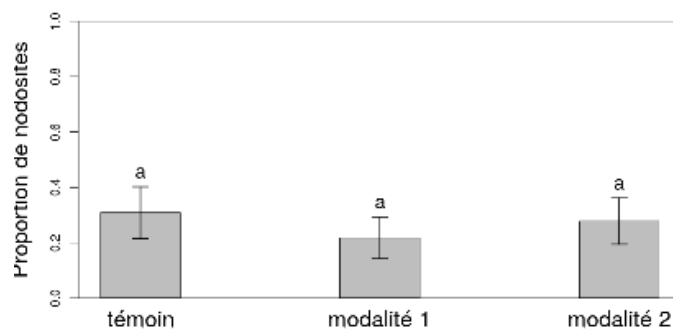


Figure 5: Proportion de nodosités de taille de 2 à 5mm

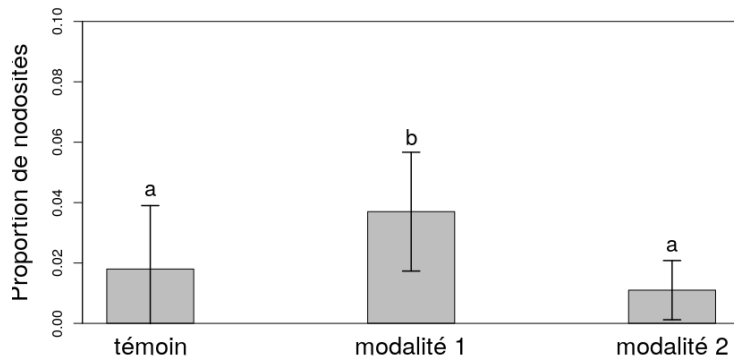


Figure 6: Proportion de nodosités de taille >5mm

### Production de biomasse en fonction de la dose de biochar

La production de biomasse est favorisée par la présence de biochar (Fig.7). On observe une augmentation respectivement de 28 % et de 48 % pour la dose 85g/kg de biochar et pour la dose 42g/kg de biochar par rapport au témoin sans biochar. On observe donc une augmentation plus importante pour la dose la plus faible de biochar bien qu'on conserve toujours une augmentation de la biomasse pour la seconde dose par rapport au témoin. En revanche, cette augmentation n'est significative que dans le cas de la dose de 42g/kg de biochar.

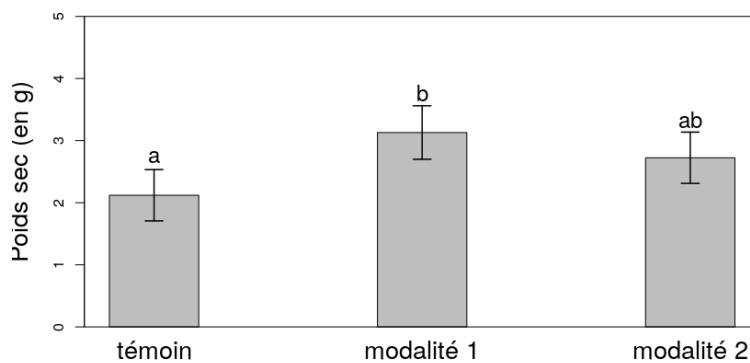


Figure 7: Production de biomasse de fèves (*V.faba*) (en g)

La biomasse des racines augmente également pour la dose de 42 g/kg par rapport au témoin. Cependant, cette augmentation n'est pas significative. En revanche, on observe une baisse significative de la biomasse des racines pour une dose de 85/kg de biochar par rapport à la modalité 1. Cette baisse s'observe aussi par rapport au témoin mais de manière non-significative (Fig.8).

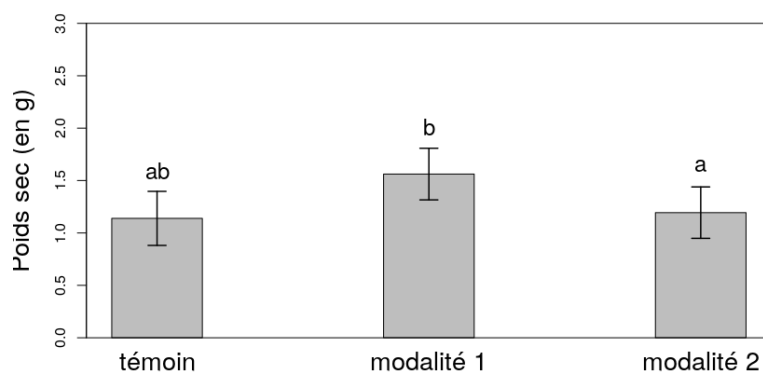


Figure 8: Biomasse des racines (en g)

La biomasse de la partie aérienne augmente en revanche pour les deux modalités (Fig.9). En effet, on observe une augmentation de 60 % de la biomasse aérienne pour les deux doses de biochar par rapport au témoin. On observe ainsi une baisse de la proportion des racines dans le poids total pour la dose de 85g/kg de biochar par rapport au témoin et à la dose de 42g/kg (Fig.10).

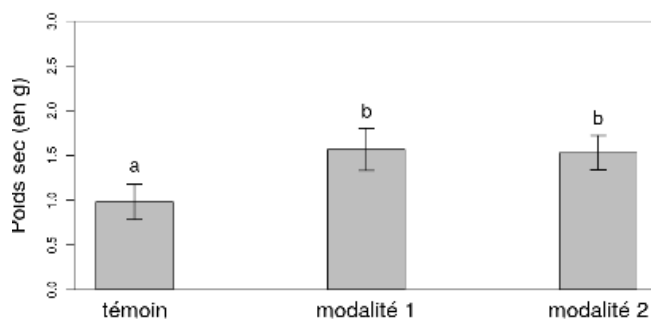


Figure 9: Biomasse de la partie aérienne (en g)

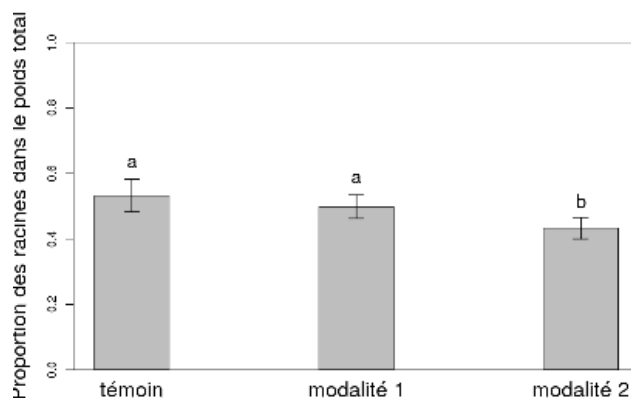


Figure 10: Part de la biomasse racinaire dans la biomasse totale

## 2.5. Discussion

### Effets du biochar sur la nodulation

Dans notre expérimentation, le biochar activé a permis d'augmenter significativement le nombre de nodosités sur les plants de fèves. Le biochar activé a donc le même effet sur la nodulation que le biochar non-activé : il l'augmente (Mete et al., 2015; Ogawa and Okimori, 2010; Tagoe et al., 2010, 2008). Cette augmentation du nombre de nodosités se traduit par une augmentation de la fixation d'azote de l'air par la plante. En effet, il a été montré sur la luzerne que la fixation d'azote de l'air par la plante augmente avec le développement des nodosités (Nishio and Okano, 1991). On ne remarque pas de changement significatif dans le nombre de nodosité entre les deux doses de biochar et on peut donc supposer une fixation d'azote équivalente. Ceci entre en opposition avec ce qu'ont pu montrer Rondon et al. sur des haricots communs (*Phaseolus vulgaris* L.) où la fixation d'azote variait avec la dose de biochar (Rondon et al., 2007). En effet, la dose la plus élevée de biochar utilisée par Rondon et al. était de 90g/kg et cette dose entraînait une baisse de 30 % de la fixation d'azote par rapport au contrôle. En revanche, dans cette expérimentation,

pour une dose similaire (85g/kg) de biochar le nombre de nodosités est plus important de plus de 130 % par rapport au témoin et comparable à la dose de 42g/kg. On peut donc penser que le fait d'activer le biochar avec de l'urine permet de maintenir sa capacité à augmenter la fixation d'azote pour des doses plus élevées.

En revanche, pour ce qui concerne la taille des nodosités, on observe qu'une dose de 42g/kg permet d'augmenter la proportion de nodosités de grande taille >5mm (+105%). Cependant, cette augmentation n'est pas observée pour la dose de 85g/kg de biochar ce qui pourrait être un marqueur annonçant les premiers effets « négatifs » dus à une dose trop importante de biochar comme décrits par Rondon et al. (Rondon et al., 2007). Une étude comparant un biochar activé et un biochar non-activé serait nécessaire afin de confirmer ses hypothèses.

### **Effets du biochar sur la production de biomasse**

Dans cette expérimentation, le biochar permet d'augmenter significativement la production de biomasse avec une augmentation de 48 % pour la dose 42g/kg et de 28 % pour la dose de 85g/kg par rapport au témoin. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus pour le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) (Rondon et al., 2007), le haricot mungo (*Vigna radiata* (L.) R.Wilczek), le soja (*Glycine max* (L.) Merr), et le pois (*Pisum sativum* L.) (Iswaran et al., 1980), et pour le riz (*Oryza sativa* L.) et le niébé (*Vigna unguiculata* L.) (Lehmann et al., 2003; Nehls, 2002). Le biochar activé auront donc également un effet positif sur la production de biomasse par des légumineuses comme le biochar non-activé. On observe toutefois une baisse de cette augmentation lorsque la dose augmente trop. Cette observation rejoint celles faites par Rondon et al dans le cas du haricot commun. De plus, en s'intéressant à la part représentée par les racines dans chaque cas on remarque que comme dans le cas de Rondon et al., la part des racines dans la biomasse totale diminue pour la dose la plus importante de biochar (Rondon et al., 2007). Ainsi, passé un certain seuil l'ajout de biochar activé commence à perdre son intérêt d'un point de vue de la production. Là encore, une étude comparant un biochar activé et un biochar non-activé pourrait être intéressante pour mieux comprendre les différences qu'il pourrait y avoir entre ces deux composés.

### **Perspectives**

Le biochar activé a montré des effets positifs pour la production de légumineuses mais il serait intéressant d'en savoir plus sur ses effets sur des productions non-légumineuses. En effet, le biochar ayant pour effet une baisse de la disponibilité en azote dans le sol on pourrait s'attendre à des baisses de rendement. D'ailleurs, d'après une méta-analyse sur la productivité de 11 cultures soumises à une fertilisation au biochar, seulement deux montrent des résultats positifs sur la production dont une légumineuse (le soja). La seconde culture qui profite de l'ajout de biochar est le radis. En revanche, seulement une culture présente des rendements moins bons : le ray-grass (Jeffery et al., 2011). Le biochar apporte donc des éléments qui permettent de balancer cet effet de baisse de l'azote. Il serait alors très intéressant de pouvoir comparer le biochar activé avec de l'urine (donc plus riche en azote) et qui pourrait avoir un effet moindre sur la disponibilité en azote dans le sol et le biochar pour la production de cultures non-légumineuses. Ces données seraient nécessaires dans une perspective de rotation des cultures. Il pourrait ainsi être pertinent de réaliser une étude sur plusieurs années prenant en compte les rendements sur la durée de la rotation et sur les différentes cultures. Cela permettrait également d'obtenir des informations sur l'évolution du comportement des cultures vis-à-vis du biochar et de son évolution avec le temps.

## 2.6. Conclusion

Le biochar activé permet une augmentation du nombre de nodosités des fèves (*Vicia faba L.*) et ainsi en découle une fixation d'azote de l'air plus importante. Il permet également une production de biomasse plus importante. Les effets du biochar activé sont donc similaires à ceux du biochar. On observe comme dans le cas du biochar non-activé un effet de seuil à partir duquel le biochar activé commence à avoir des effets qui régresse. En revanche, ce seuil paraît être plus élevé pour le biochar activé que pour le biochar non-activé. Des études supplémentaires seraient nécessaires afin de comparer les effets de ces deux types de biochar et également d'en apprendre plus sur l'effet du biochar sur des plantes non-légumineuses.

## Conclusion

Cette expérience dans le monde de l'expérimentation scientifique fut pour moi l'occasion de découvrir quelque chose de très différent de ce que je pouvais connaître. En effet, j'ai découvert un climat et des techniques desquels je n'étais pas familier ainsi qu'une approche de l'expérimentation très liée aux observations sur le terrain.

Je retire deux éléments essentiels de cette expérience. Tout d'abord l'importance de l'échange avec les autres dans une expérimentation afin de confronter les points de vue et de prendre du recul sur les idées et explications qu'on pourra trouver aux phénomènes observés. Le deuxième élément est de faire le lien avec ce qu'on observe sur le terrain et l'application qui pourra ensuite être donnée aux éléments sur lesquels on a pu travailler.

Pour finir, je retiendrai une expérience dans un pays très différent de la France, où les structures de recherche sont très différentes et nécessitent l'existence de lieux tels que la Mollesnejta pour mener des expériences sur le terrain qui ne pourraient pas voir le jour ailleurs à défaut de structures de recherche très puissantes.



## Bibliographie

- Bird, M., Moyo, C., Veenendaal, E., Lloyd, J., Frost, P., 1999. Stability of elemental carbon in a savanna soil. *Global Biogeochemical Cycles* 13, 923–932. <https://doi.org/10.1029/1999GB900067>
- Iswaran, V. (Division of M., Jauhri, K.S., Sen, A., 1980. Effect of charcoal, coal and peat on the yield of moong, soybean and pea. *Soil Biology + Biochemistry* (UK).
- Ithaka Institute, 2019. Biochar Production [WWW Document]. URL <https://nepal.ithaka-institut.org/en/ct/101> (accessed 8.15.19).
- Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., van der Velde, M., Bastos, A.C., 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 144, 175–187. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.015>
- Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., Glaser, B., 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil* 249, 343–357. <https://doi.org/10.1023/A:1022833116184>
- Mete, F.Z., Mia, S., Dijkstra, F.A., Abuyusuf, M., Hossain, A.S.M.I., 2015. Synergistic Effects of Biochar and NPK Fertilizer on Soybean Yield in an Alkaline Soil. *Pedosphere, Special Issue on Application of Biochars for Soil Constraints: Challenges and Solutions* 25, 713–719. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30052-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30052-7)
- Myers, T.P., Denevan, W.M., Winklerprins, A., Porro, A., 2003. Historical Perspectives on Amazonian Dark Earths. *Amazonian Dark Earths* 15–28. [https://doi.org/10.1007/1-4020-2597-1\\_2](https://doi.org/10.1007/1-4020-2597-1_2)
- Nehls, T., 2002. Fertility improvement of a Terra Firme oxisol in Central Amazonia by charcoal application.
- Nishio, M. (National G.R.I., Okano, S., 1991. Stimulation of the growth of alfalfa [*Medicago sativa*] and infection of roots with indigenous vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi by the application of charcoal. *Bulletin of the National Grassland Research Institute* (Japan).
- Novak, J., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J., Steiner, C., Das, K.C., Ahmedna, M., Rehrh, D., Watts, D.W., J. Busscher, W., Schomberg, H., 2009. Characterization of Designer Biochar Produced at Different Temperatures and Their Effects on a Loamy Sand. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
- Ogawa, M., Okimori, Y., 2010. Pioneering works in biochar research, Japan. *Soil Research* 48, 489–500. <https://doi.org/10.1071/SR10006>

- Tagoe, S., Horiuchi, T., Matsui, T., 2010. Effects of carbonized chicken manure on the growth, nodulation, yield, nitrogen and phosphorus contents of four grain legumes. *Journal of Plant Nutrition* 33, 684–700. <https://doi.org/10.1080/01904160903575915>
- Rondon, M.A., Lehmann, J., Ramírez, J., Hurtado, M., 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biol Fertil Soils* 43, 699–708. <https://doi.org/10.1007/s00374-006-0152-z>
- Sandoval Yanez, S.D., 2019. Evaluacion de la capacidad productiva, retencion de humedad y rentabilidad de un cultivo de cebolla (*Allium cepa* var. Sibán) en un suelo tratado con biocarbon combinado con orina en Combuyo-Vinto. Universidad Católica Boliviana “San Pablo.”
- Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E., Bol, R., 2010. Chapter 2 - A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil, in: *Advances in Agronomy*, Advances in Agronomy. Academic Press, pp. 47–82. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)
- Tagoe, S.O., Horiuchi, T., Matsui, T., 2008. Effects of carbonized and dried chicken manures on the growth, yield, and N content of soybean. *Plant Soil* 306, 211–220. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9573-9>
- Wardle, D.A., Zackrisson, O., Nilsson, M.-C., 1998. The charcoal effect in Boreal forests: mechanisms and ecological consequences. *Oecologia* 115, 419–426. <https://doi.org/10.1007/s004420050536>