

Septième partie

Annexes

Annexe A

Agronomie

"Impact d'un amendement au biochar sur le cycle du Si dans une système sol-coton (*Gossypium Hirsutum*)."

A.1 État de l'art

A.1.1 Biochar

Introduction

Le biochar est un composé noir très riche en carbone, obtenu lorsque de la biomasse est chauffée sans oxygène à de hautes températures (entre 300 et 700 degrés). Il diffère du charbon de bois par sa fonction précise d'amendement des sols, c'est-à-dire qu'il est produit dans le but de l'appliquer sur une parcelle pour en améliorer les propriétés. Ce n'est donc pas un produit utilisé pour chauffer. Le biochar est très étudié depuis ces 10 dernières années, car ses propriétés hors du commun lui permettent notamment d'améliorer la productivité en champs et la qualité des sols, mais surtout il est aussi capable de séquestrer du carbone à long terme. Cette dernière fonction permettrait de diminuer la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère et ainsi réguler le réchauffement climatique mondial (Lehmann et al., 2009).

Historiquement, le biochar a déjà été utilisé dans les terres noires d'Amazonie connues sous le nom de Terra Preta. Les anciennes populations amérindiennes l'utilisaient pour amender les sols avant la venue des Européens, ce qui pourrait expliquer le développement de civilisations complexes dans ces régions (Lehmann et al., 2009).

Objectifs du biochar

Dans un premier temps, l'utilisation de biomasse pour produire de l'énergie est un sujet d'actualité, car intégrer le biochar dans la production de chaleur et d'énergie renouvelable est une opportunité à explorer (Montanarella et al., 2013). En effet, à de très hautes températures¹ le biochar est coproduit avec du biocarburant qui peut substituer le diesel ou encore, transformé en gaz synthétisé, permet une production d'énergie. Ce système est utilisé dans les pays développés et le biochar n'est pas le produit

1. Méthode HTT, "high temperatur treatment".

désiré. Cependant, des questions se posent suite à la contradiction entre l'utilisation des terres pour des bioénergies et les besoins croissants en nourriture de la population mondiale qui pourraient ne pas être satisfaits. Vu le marché de l'énergie, des biocarburants et les installations industrielles nécessaires pour un tel objectif, nous ne nous attarderons pas sur cette partie. En effet, nous souhaitons obtenir, dans le cadre du projet Koobo, une production de biochar dans des fours rudimentaires en champs à des températures plus basses. La formation des produits dérivés n'est pas souhaitée, ce qui est évité à des températures inférieures à celles de 200-300 degrés (Lehmann et al., 2009).

Ensuite, une étude suggère que le biochar a surtout des effets bénéfiques lorsqu'il est appliqué sur des sols pauvres (faible CEC, peu de C organique, pH acide...) ce qui représente une grande partie des terres agricoles à faible potentiel dans le monde, surtout dans les tropiques humides. Étant donné que ces sols correspondent à l'emplacement des populations pauvres, le biochar devrait être étudié pour son impact dans le développement de l'agriculture. Aussi, puisque la minéralisation du carbone est plus rapide dans les régions chaudes et humides, le biochar représenterait alors une bonne séquestration du carbone là où il offre les meilleurs bénéfices agricoles (Crane-Droesch et al., 2013). Afin d'assurer l'efficacité du biochar dans les sols, il faut considérer 4 points importants : la longévité du biochar dans le sol, le taux de gaz à effet de serre évité, la quantité de biochar assimilable par les sols et la quantité de production acceptable du point de vue environnemental et économique (Woolf, 2008). Les bénéfices du biochar sont prouvés, mais il existe certaines retenues concernant la durée du stockage de carbone et les améliorations de rendements obtenues sur différents sols et à plusieurs latitudes : nous exprimons ces réserves afin de pouvoir tirer des conclusions lors de nos recherches (Lehmann et al., 2009).

Les problèmes environnementaux les plus urgents aujourd'hui sont : la dégradation des sols, l'insécurité alimentaire, les changements climatiques et la pollution de l'eau par des produits chimiques. Toutes les mesures qui concernent ces problématiques doivent être agencées de façon individuelle, mais aussi selon un angle plus large dans le but d'obtenir un effet global. En effet, pour que des technologies soient efficaces, les actions pour la sécurité alimentaire doivent être couplées avec les changements climatiques et la gestion durable des ressources naturelles. Le biochar pourrait ainsi être une solution pour améliorer la productivité agricole et la sécurité alimentaire tout en réduisant l'émission des gaz à effet de serre. Toutefois nous insistons sur le fait qu'il reste des recherches à effectuer pour assurer l'efficacité du biochar comme solution ultime (Sparkes et al., 2011).

Cycle du carbone et du biochar

Le sol constitue un rôle important dans le cycle global du carbone en tant que source et puits. Ce dernier existe donc sous deux formes dans le sol : organique et inorganique. Le carbone organique du sol provient de la décomposition de la matière organique tandis que le carbone inorganique est issu de sources telles que la calcite (CaCO_3) ou la dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Le niveau du carbone que l'on peut atteindre dépend du type de sol, du développement de la végétation et du taux de minéralisation ou de respiration du carbone dans le sol (Sparkes et al., 2011).

Le carbone est donc une molécule qui fait partie du monde minéral et organique. Composé omniprésent dans les êtres vivants, on en parle actuellement beaucoup pour sa présence dans des gaz

à effet de serre tels que le méthane (CH_4) ou le dioxyde de carbone (CO_2). L'activité anthropique depuis quelques décennies a impacté fortement l'équilibre du carbone dans le système terrestre, avec une perte nette vers l'atmosphère de 1.75 Gt de carbone. Dans le but de mieux comprendre le fonctionnement du biochar et sa place dans ce système complexe et interconnecté, il est important de bien assimiler le cycle naturel du carbone organique à court terme (Fig. A.1) (Verheijen et al., 2010).

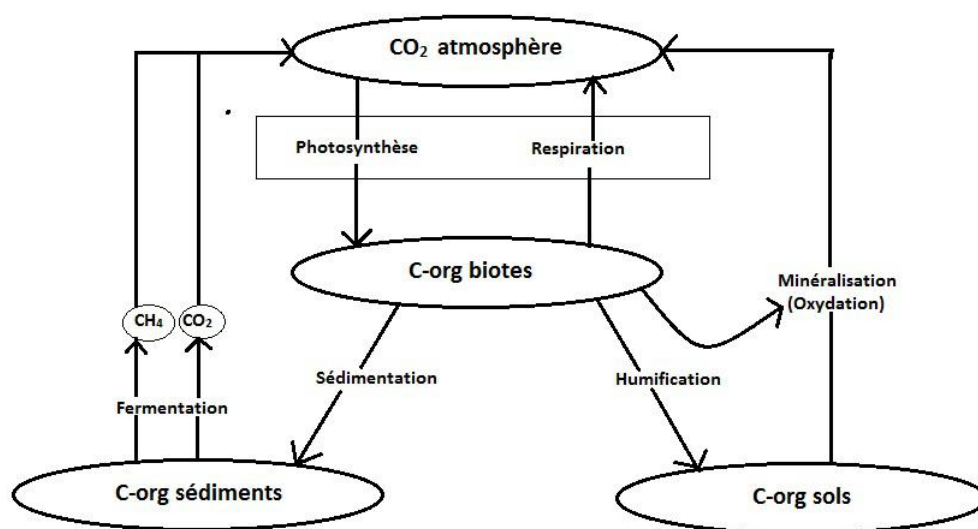


FIGURE A.1 – Schéma du cycle court du carbone organique. (Source : Cours d'introduction à l'ingénierie de la biosphère, UCL. Partie Dufey J., 2013).

Ce cycle prend part dans 4 réservoirs : l'hydrosphère, la biosphère, l'atmosphère et la lithosphère. Le carbone qui participe le plus dans les échanges se situe davantage en superficie, car il est généralement stocké dans les fonds marins ou dans les carbonates pour de plus grandes périodes de temps. Dans un cycle, il est nécessaire de prendre en compte les flux entre les réservoirs ainsi que le temps de résidence du composé dans ceux-ci. Il y a alors des échanges grâce à différents processus physico-chimiques. Nous nous intéressons particulièrement à ceux entre la biomasse et l'atmosphère : le système sol-plante.

Le carbone organique peut grossièrement effectuer un cycle long (+/- 200.000.000 ans) s'il passe par une sédimentation dans les roches sédimentaires ou un cycle plus court qui consiste à son retour ou à celui des sédiments, vers l'atmosphère par minéralisation ou fermentation. Parmi ces interactions, le CO_2 dans l'atmosphère va être capté par la végétation dont les résidus iront se décomposer dans l'humus ou les sédiments. Ce cycle entier prend un temps inférieur à 100 ans. L'amendement par biochar a pour but d'augmenter le temps de résidence du carbone et de le faire passer dans un nouveau cycle long grâce à sa grande stabilité (Fig. A.2).

Le temps de résidence de la matière organique dans le sol s'explique aussi par le climat. Un climat plus froid en Europe signifie que la décomposition microbienne se déroule plus lentement que dans les tropiques, ce qui engendre un temps plus long de résidence de la matière organique. En terme de quantité, le sol retient environ 1.100 Gt de carbone organique tandis que l'atmosphère retient 750 Gt

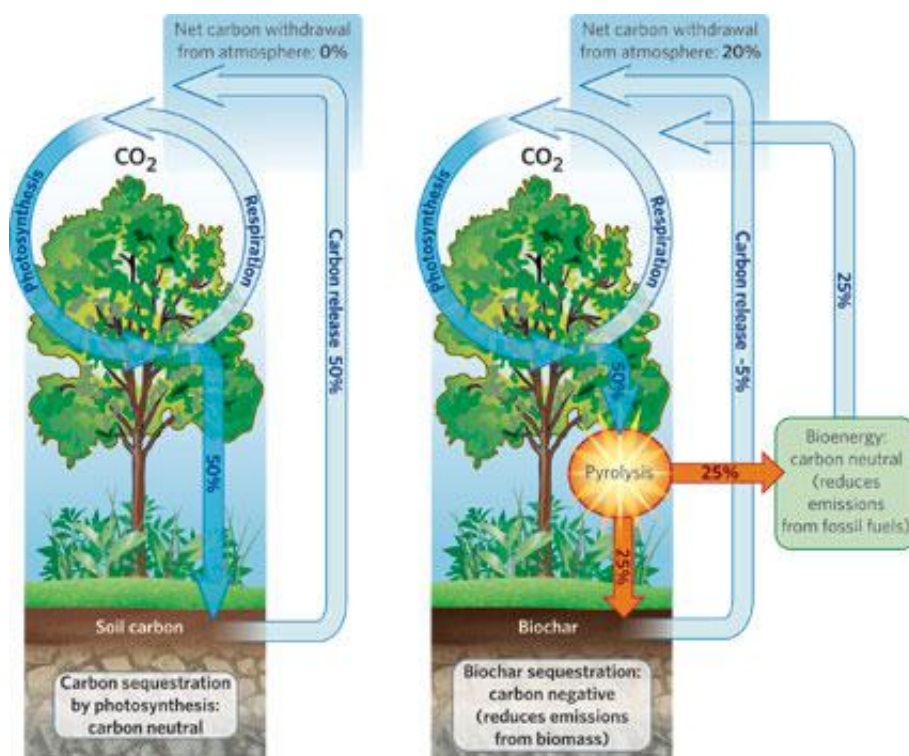


FIGURE A.2 – Schéma de la production de biochar et son action sur le cycle du carbone. (Source : Lehmann(b), 2007).

et la biosphère terrestre 560 Gt (Verheijen et al., 2010).

Le biochar permet de stocker du carbone dans le sol, mais il est important de comprendre comment. Le concept de séquestration est relativement simple : le CO₂ de l'atmosphère est fixé dans la végétation par la photosynthèse². Si le stockage de C est permanent et non libéré par décomposition de la matière organique, le relâchement de CO₂ dans l'atmosphère sera réduit (Verheijen et al., 2010). Pour obtenir une séquestration, Lehmann nous rappelle qu'il est nécessaire que deux paramètres soient rencontrés (Lehmann et al., 2009).

- D'abord, les plantes doivent croître à la même vitesse que nous les carbonisons, car le dioxyde de carbone de l'atmosphère devient du carbone organique lors de la photosynthèse des végétaux. Par la suite, la biomasse formée dans la nature se décompose rapidement et renvoie en bout de chaîne trophique le carbone dans l'atmosphère. Si on transforme cette biomasse en biochar, la dégradation a lieu de façon beaucoup plus lente et le carbone ne passe plus par le cycle biologique rapide, mais par celui du biochar, beaucoup plus long grâce à sa grande stabilité.
- Le second paramètre est qu'il est nécessaire que le biochar soit véritablement plus stable que la matière dont il provient, ce qui est normalement le cas comme il a été démontré dans diverses publications scientifiques.

2. Processus par lequel les plantes et certaines bactéries utilisent l'énergie solaire pour effectuer la synthèse de molécules organiques à partir de gaz carbonique et d'eau.

Le stockage à long terme du carbone provenant de la biomasse ou de déchets dans le biochar se produit donc, car on évite son incinération ou sa minéralisation (Montanarella et al., 2013). En attendant que des recherches approfondies fournissent d'autres informations, nous pouvons synthétiser ce cycle par un schéma qui comprend les flux de carbone entre l'atmosphère, la plante et le biochar (Fig. A.3) (Lehmann et al., 2009).

En terme quantitatif, Lehmann estime qu'une séquestration de carbone à l'aide des déchets agricoles, des résidus de forêt, et des déchets urbains peut engender la production de 0.16 Gt de biochar. En outre, le temps de résidence estimé du carbone dans le biochar est de 100 à 1000 ans tandis que celui dans le matériel de la plante est de 10 ans (Verheijen et al., 2010). Cependant, des chercheurs annoncent que le carbone peu dégradé du sol pourrait augmenter le taux de décomposition des composés carbonés facilement décomposables ou labiles (Woolf, 2008).

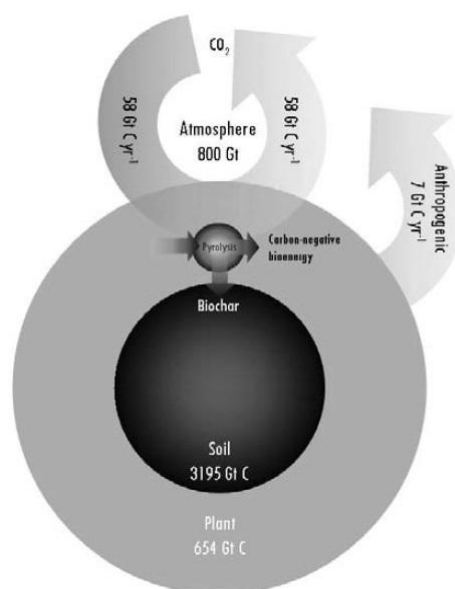


FIGURE A.3 – Cycle global du carbone de la production primaire (flux de l'atmosphère vers la photosynthèse des plantes) et libération du sol vers l'atmosphère (par les microorganismes qui décomposent la matière organique) en comparaison à la quantité totale de carbone dans le sol, dans les plantes et dans l'atmosphère, et aux émissions anthropiques de carbone (émissions par les énergies fossiles ou pas les changements d'occupation des terres). (Source : Lehmann et al., 2009).

Pyrolyse

Le biochar est créé par un chauffage de la biomasse dans un espace sans oxygène : le four. Cependant les conditions de pyrolyse peuvent varier : la température, le temps de chauffage, le flux de chaleur, etc. La pyrolyse à *haute température* ($> 550^{\circ}\text{C}$) produit du biochar possédant une haute surface spécifique ($> 400\text{m}^2/\text{g}$) ce qui en fait un bon adsorbant très aromatique et par conséquent récalcitrant à la décomposition. Celle à *basse température* ($< 550^{\circ}\text{C}$) favorise une meilleure récupération du carbone et des nutriments en fin de chauffage qui sont perdus à haute température. Ce biochar obtenu a alors une structure moins condensée qui sera plus réactive dans le sol et aura une meilleure contribution à la fertilité (Joseph et al., 2010). Quelle que soit la température, le

contenu en minéraux du feedstock³ est conservé en grande partie dans le biochar et il se concentre graduellement lors de la perte du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène (Verheijen et al., 2010). Après carbonisation de la matière, nous ne retrouvons que des cendres et de la matière carbonisée. Les cendres contiennent en majorité des minéraux tels que le Ca, du Mg et des carbonates inorganiques $\text{CO}_3(2-)$ tandis que la matière carbonée restante possède une partie labile et une autre très stable : c'est le *Black Carbon* (Lehmann et al., 2009).

Dans le cadre du projet social Koobo qui vise à maximiser la production de biochar pour amender les sols, il est préférable de se focaliser sur la pyrolyse lente malgré que la température influence fortement sa réactivité dans le sol. Ce dernier processus est souvent appelé carbonisation et conserve une grande proportion de matériel carbonisé : le biochar. L'utilisation de ce composé pour amender les sols et pour mitiger le changement climatique doit se faire par cette méthode dans le but de maximiser la production de charbon, composé le plus stable de la pyrolyse (Verheijen et al., 2010). Du point de vue de sa production sur le terrain d'un petit agriculteur, la biomasse est placée dans le four, chauffée, et finalement refroidie quelques minutes à température ambiante ou par aspersion d'eau pour éviter une autocombustion (Koide et al., 2014).

Application du biochar

la *capacité de charge* du biochar est la quantité de composé qui peut être ajoutée sans compromettre les fonctions du sol ou celles de l'environnement. Cette capacité devrait être quantifiée pour les différents types de biochar afin de permettre une certaine méthodologie relative aux types de sol (Verheijen et al., 2010). Les effets de l'amendement biochar sur la croissance des cultures dépendent du taux d'application et du type de sol (Sparkes et al., 2011). Lehmann a rapporté qu'une charge allant jusqu'à 140 tonnes de carbone par Ha donne encore des effets positifs sur les rendements en sol tropical altéré. Cependant, une perte a été notée sur certains types de terrains si la concentration est trop importante (Verheijen et al., 2010). Il est donc essentiel d'en savoir plus sur l'application de biochar en agriculture afin de ne pas compromettre les productions agricoles (Sparkes et al., 2011). Or, les incertitudes des résultats sont une limite, car ils sont très dépendants du type de biochar, du taux d'application, des propriétés du sol et des conditions environnementales. Néanmoins, on a remarqué des bénéfices sur les cultures après la première année, mais il n'y a pas toujours eu d'effet clair lors de la seconde dans les recherches d'Olmo (Olmo et al., 2014).

Il existe différents scénarios de production et d'application de biochar où le cycle peut être ouvert ou fermé (Verheijen et al., 2010) :

- *fermé* signifie que les unités de pyrolyse sont relativement petites et placées sur les sites agricoles, directement avec les résidus de culture ou les déchets biologiques. Le biochar est alors applicable localement.
- *Ouvert* veut dire que les déchets sont accumulés et pyrolysés à l'extérieur du site, à l'échelle industrielle, et le biochar est redistribué aux fermes par la suite (Fig. A.4).

3. Du matériel organique de départ, de nature animale ou végétale.

Concernant l'application en champs, les stratégies pour le biochar sont variées. Il existe trois approches (Verheijen et al., 2010) :

- 1. **Une incorporation en surface.** On le combine avec du compost et on l'applique à l'aide d'un système conventionnel de labour selon la culture en place. Le problème est le risque d'érosion par le vent ou par l'eau, car la densité du biochar est très basse ; c'est pourquoi, dans ce cas-là, on pourrait le mélanger au compost.
- 2. **Application en profondeur.** Appliquer en "bande-profonde" directement dans la rhizosphère où ce sera le plus bénéfique pour la croissance des plantes et avec un moindre risque d'érosion.
- 3. **Application par fertilisation.** Épandre le biochar surtout sous forme de poussière à la surface du champ afin que les processus naturels le mélangent dans la couche supérieure du sol. Cette dernière est utile quand l'incorporation mécanique n'est pas possible comme dans le cas des forêts ou de système de non-labour. Le risque d'érosion, d'inhalation et d'impact sur d'autres écosystèmes est plus grand, c'est pourquoi cette méthode est spécifique à certains cas.

La majorité des techniques d'application du biochar aujourd'hui mène à une grande perte du produit (dispersion et incorporation, bande profonde) (Joseph et al., 2010). Aussi est-il important de tenir compte des techniques culturales utilisées en champs par l'agriculteur, car les effets d'un amendement au biochar vont y être liés. En outre, le labour pourrait avoir un impact non négligeable sur la température du sol qui participe à l'accélération de l'oxydation du biochar (Verheijen et al., 2010).

La fréquence d'application de biochar à la surface devrait être annuelle ou espacée de quelques années avec une application unique. Pour des effets spécifiques tels qu'une disponibilité en nutriments ou un effet de chaulage, l'application doit être plus fréquente (Verheijen et al., 2010).

Avantages

Le biochar offre une opportunité de changement de la révolution verte du XXe siècle, période d'améliorations technologiques en agriculture, en agroécosystème durable. Aujourd'hui, nous parlons d'une "révolution biochar" : en plus de capter le CO_2 et de générer des produits dérivés utiles, le biochar est valorisable en culture, car il offre une amélioration des rendements et prend alors un rôle économique et social majeur. Cette perspective d'évolution garantira en outre une production alimentaire suffisante à la planète et un climat viable par le futur (Lehmann et al., 2009).

Lehmann indique que le biochar assure 4 objectifs complémentaires (Fig. A.5) qui peuvent s'associer ou non pour permettre des bénéfices sociaux et/ou économiques (Lehmann et al., 2009) :

- l'amélioration des sols pour augmenter la production et diminuer la pollution ;
- la gestion des déchets ;
- un rôle tampon des changements climatiques ;
- une production d'énergie, que nous n'analyserons pas ici.

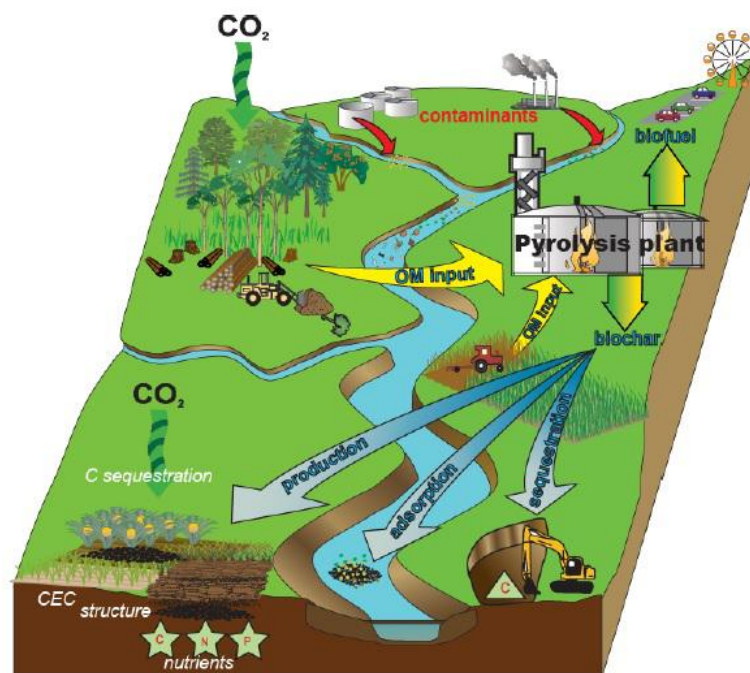


FIGURE A.4 – Cycle ouvert de production du biochar de façon industrielle, de la récupération de biomasse jusqu'à son utilisation en champs ou dans d'autres domaines. (Source : Sohi et al., 2009).

En plus d'une valorisation par le producteur (biochar/biocarburant/gaz), la gestion des déchets animaux ou de culture est un atout pour l'agriculteur. Le fait de pyrolyser la biomasse va changer la nature du composé, mais va également diminuer son volume, objectif souhaité. Cela va aussi supprimer des pathogènes qui auraient pu avoir une influence si on avait simplement appliqué un compost sur la terre. Mais attention que dans le cas de différentes sources de déchets spécifiques utilisés pour produire le biochar (déjections animales, cultures avec traitements chimiques nocifs...), ce pourrait être une source de pollution pour le sol, l'eau de surface ou les nappes (Lehmann et al., 2009).

Ci-dessous nous avons repris trois des grands impacts du biochar sur l'environnement.

Fertilité et plantes Le biochar contribue à la forme disponible des nutriments dans le sol et ce, par un effet direct (apport de minéraux) et indirect (sorption du biochar et changements physicochimiques et biologiques des propriétés du sol) (Olmo et al., 2014). Son application sur les cultures permet d'améliorer la fertilité et donc les rendements des agriculteurs, surtout dans des régions tropicales - subtropicales ou sur des sols acides, où la production est majorée d'environ 10% (Nelissen et al., 2015 ; Husk et al., 2012). Cet effet est majoritairement dû à la meilleure rétention en eau du sol (Nelissen et al., 2015) et donc aux moindres stress hydriques subis, car, en effet, des études récentes ont démontré que l'eau retenue dans les pores du biochar est disponible pour les plantes. Effectivement, dans plusieurs parties du monde, l'humidité du sol limite la productivité végétale ; or les changements climatiques actuels engendrent une augmentation de la température, une diminution des pluies et de nouveaux modèles de saisons. L'eau est dans ce cas moins disponible pour l'irrigation, ce qui se répercute sur les cultures (Koide et al., 2014). Le biochar entraîne aussi la prolifération des racines grâce à des conditions favorables dans le sol (Olmo et al., 2014) et un meilleur taux de germination (De la Rosa et al., 2014) selon la nature du feedstock et sa richesse en nutriments. Cette croissance de

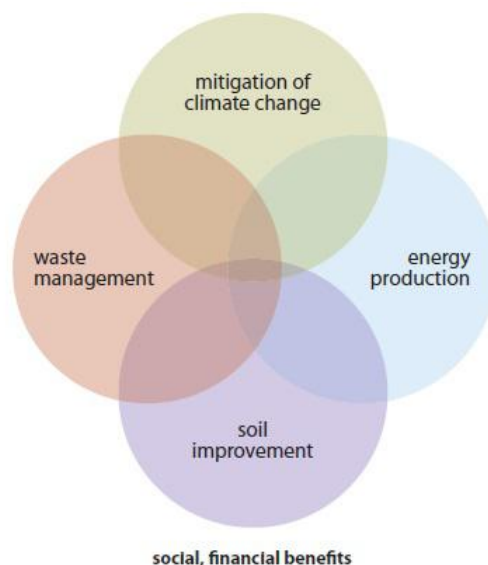


FIGURE A.5 – Objectifs de l'utilisation du biochar. (Source : Lehmann et al., 2009).

la végétation est expliquée par l'efficacité de la photosynthèse dans les feuilles, augmentée grâce une pression plus faible des stress hydriques et des maladies qui affectaient la plante (Olmo et al., 2014). L'efficacité du biochar dans cette amélioration de rendement dépend du type de sol, du climat, du type de culture, de la quantité et des propriétés du biochar (De la Rosa et al., 2014).

Gaz à effet de serre Mélanger du biochar aux sols permet de réduire les productions de gaz à effets de serre vers l'atmosphère, ce qui impacte donc les changements climatiques globaux aujourd'hui très importants. Les 3 principaux gaz qui participent au réchauffement par la capture de l'énergie solaire sont le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote/oxyde nitreux (N_2O). Le potentiel de réchauffement de ces deux derniers est respectivement 21 et 210 fois plus élevé que celui du CO_2 ; il faut dès lors tenir compte de ce potentiel et de la concentration présente dans l'atmosphère. Il a été prouvé que l'addition de biochar dans le sol diminue les émissions de CH_4 et N_2O et que son cycle permet de séquestrer du carbone dans le sol à long terme. 80% du N_2O et 50% du CH_4 sont émis par des processus du sol dans des écosystèmes, c'est pourquoi il est intéressant d'en savoir davantage sur leur fonctionnement (Verheijen et al., 2010).

La production de méthane fait partie du cycle du carbone et est réalisée par les microorganismes du sol en condition d'anaérobie⁴ : ce processus s'appelle la méthanogenèse et peut notamment avoir lieu dans des terres immergées telles que les rizicultures. L'hypothèse de l'impact du biochar sur ce procédé est une meilleure aération du sol qui va perturber ces conditions d'anaérobie (Verheijen et al., 2010).

L'oxyde nitreux est, quant à lui, émis dans le cadre du cycle de l'azote par les procédés de nitrification et dénitrification, qui sont également en relation avec les microorganismes du sol. Les fertilisants azotés, la fixation biologique par le biotope, la matière organique du sol et les déchets animaux sont alors des sources d'azote qui peuvent mener à des émissions d'oxyde-nitreux depuis le

4. sans oxygène.

sol. Les facteurs qui influencent fortement ces émissions agricoles sont surtout le taux d'application du fertilisant et sa nature, le type de culture, le contenu en carbone organique, le pH et la texture du sol (Sparkes et al., 2011). Des recherches ont montré des impacts du biochar négatifs sur la communauté de dénitrification et sur une enzyme (N_2O reductase) qui lui fournissait des conditions adéquates à son activité (Arbestain et al., 2014).

Enfin, concernant le CO_2 , il existe pour le moment différentes méthodes pour diminuer sa concentration dans l'atmosphère : d'abord on peut augmenter la taille du pool de carbone dans la biomasse terrestre grâce à la reforestation, on peut aussi diminuer le labour, modifier l'utilisation des terres et enfin on peut séquestrer le carbone dans le sol, processus dans lequel s'inscrit le biochar (Woolf, 2008). Malgré son potentiel de réchauffement moins élevé que les deux autres gaz à effet de serre, le problème du dioxyde de carbone dans l'atmosphère est sa quantité. Or, celle-ci croît avec le développement des industries dans le monde qui rejettent du carbone dans l'air. Le biochar permet alors aussi de réduire la consommation énergétique et les émissions industrielles en recyclant et en gérant les déchets ou encore en diminuant l'utilisation d'énergie utilisée pour les transports longue distance des déchets de biomasse (Lehmann et al., 2009).

Impact sur le biotope L'addition du biochar affecte l'abondance, l'activité et la diversité des communautés biotiques dans le sol et permet un bon développement des microorganismes, sources de nombreux bénéfices pour les cultures mises en place. Au lieu de simplement offrir une source primaire de nutriments aux micro-organismes, le biochar améliore l'environnement physique et chimique et fournit un habitat favorable à ces derniers. Cela protège des prédateurs, d'une déshydratation et c'est une source d'énergie carbonée et de nutriments pour eux (Lehmann et al., 2009). Cet environnement idéal s'explique par la nature poreuse du biochar, sa haute surface spécifique et l'adsorption de matière soluble ou des nutriments inorganiques (Sparkes et al., 2011).

À propos des micro-organismes (bactéries, nématodes, fungi...), ils permettent des services écosystémiques qui sont bénéfiques pour l'agriculture. Ils assurent la décomposition de la matière organique, le cycle et l'immobilisation des nutriments inorganiques, la bioremédiation du sol pour divers contaminants, etc. En outre, comme ils interagissent avec les plantes dans la rhizosphère, ils influencent les macro ou micronutriments que les plantes auront. Le biochar va affecter le biotope du sol et est différent des autres types de matière organique, car sa stabilité en fait une source difficile à utiliser pour obtenir de l'énergie ou du carbone cellulaire (Lehmann et al., 2009). Cependant, la carbonisation de grandes quantités de résidus devrait réduire l'incorporation de carbone organique frais et décomposable, source d'énergie pour les microorganismes. La biomasse microbienne augmente lors de l'application du biochar, avec des changements significatifs dans sa composition et l'activité des enzymes (Montanarella et al., 2013). De plus, il aurait des relations importantes avec les mycorhizes du sol, ce qui favorise la fertilité et la croissance des plantes. Les mécanismes du biochar qui influencent ces organismes seraient entre autres le changement des propriétés physico-chimiques du sol, un effet indirect grâce aux interactions avec d'autres microbes, le signalement d'interférence plante-fungi et la détoxification de produits chimiques (Woolf, 2008). En conclusion, le biochar change les caractéristiques physiques et chimiques du sol, qui elles-mêmes vont influencer le comportement du biotope (Fig. A.6) (Lehmann et al., 2009).

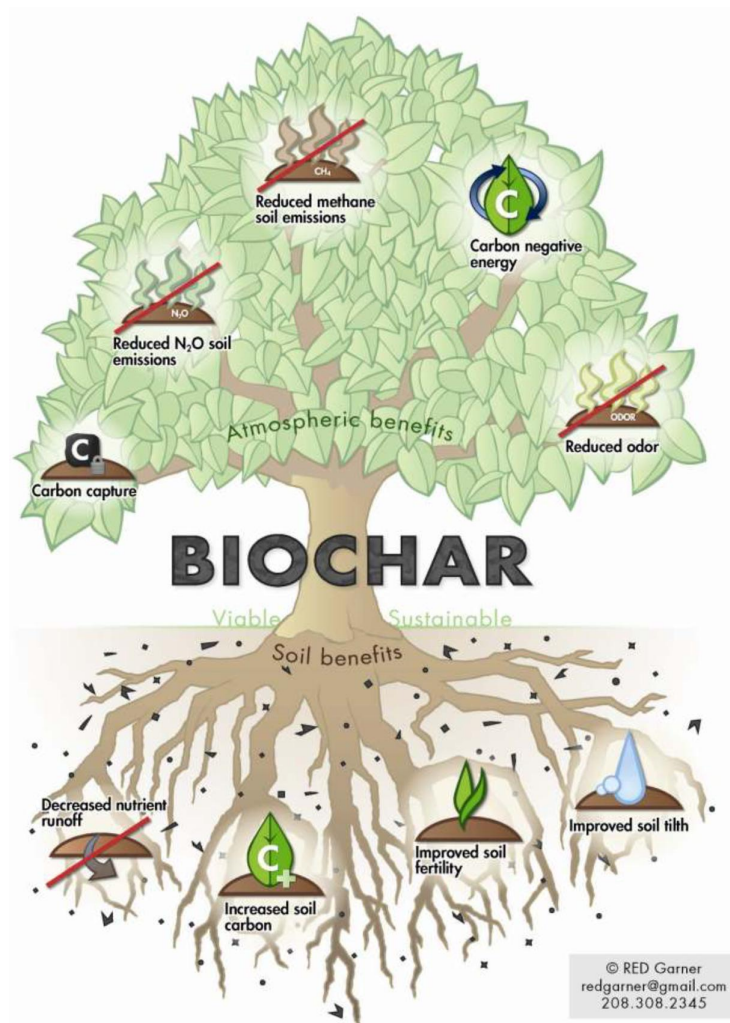


FIGURE A.6 – Schéma des différents bénéfices apportés par le biochar dans le système sol-plante. Source : International Biochar Initiative, visité le 15/02/15 ; (<http://www.biochar-international.org/>)

Propriétés chimiques

Il est important de savoir que les propriétés physiques et chimiques du biochar sont principalement déterminées par la nature du feedstock et par les conditions de pyrolyse (taux de chauffage, temps de résidence, pression, type de four, ...) (Verheijen et al., 2010). Des résultats peuvent donc différer selon ces deux critères et il existe une infinité de combinaisons entre un type de biomasse et les conditions de chauffage ; c'est pourquoi les conclusions des publications scientifiques peuvent différer tout en étant souvent univoques.

La composition chimique du biochar est très hétérogène, car elle contient des composés labiles ou stables. Les constituants majeurs sont : le carbone, la matière volatile, les cendres minérales et l'humidité. La proportion de ces composés dans le biochar détermine son comportement physique et chimique dans son ensemble. Le biochar interagit avec beaucoup de composés organiques ou inorganiques dans l'environnement et sa composition complexe est liée à sa surface. Des groupes fonctionnels qui y sont situés font que les propriétés des particules vont d'acide à basique ou d'hydrophile à hydrophobe. La réactivité de ces groupes dépend notamment du matériel de départ

et de la pyrolyse comme énoncé précédemment (Verheijen et al., 2010). Les propriétés chimiques ou physiques changent donc avec la température et le temps de résidence de la pyrolyse, jusqu'au moment où tout le carbone est sous la forme de graphite (Joseph et al., 2010).

Les ratios H/C et O/C, qui diminuent avec la température de pyrolyse, suggèrent que l'aromaticité des biochars peut différer ainsi que beaucoup d'autres éléments de composition ou de structure (De la Rosa et al., 2014). Le ratio H/C est basé sur le degré de condensation aromatique de sa structure lors de la perte relative de H par le carbone (Arbestain et al., 2014).

Comme dans le cadre de l'altération minérale, l'eau va jouer un grand rôle dans les processus d'altération du biochar dans le sol et dans les interactions avec le biotope : dissolution, hydrolyse, carbonation et decarbonation, hydratation, réactions redox ... (Joseph et al., 2010).

Autres minéraux Dans la plante, le calcium (Ca) est surtout dans les parois cellulaires et se lie aux acides organiques alors que le magnésium (Mg) et le phosphore (P) sont liés aux composés organiques complexes dans la cellule (Verheijen et al., 2010). Le potassium (K), généralement disponible dans le biochar, est le cation le plus abondant dans les plantes et un nutriment essentiel pour la croissance et l'osmo-régulation (Joseph et al., 2010). Le contenu en cendre du biochar inclut ces constituants inorganiques (Ca, Mg et carbonate inorganique), après que tous les éléments organiques (C, H et N) ont été volatilisés (Sparkes et al., 2011). L'azote (N), le manganèse (Mn) et le fer (Fe) sont aussi associés à des formes organiques ou inorganiques. Le silicium, quant à lui, se trouve dans les parois cellulaires sous forme de silice cristalline (SiO_2), surtout dans le biochar de certaines plantes comme le riz ou le maïs. De basses températures inférieures à 500°C favorisent l'accumulation de K disponible, Cl, Si, Mg, P et S ; ce qui explique pourquoi ces biochars favorisent la rétention en nutriments (Verheijen et al., 2010).

Le phosphore est un nutriment important pour la plante. La décomposition de la matière organique régule sa minéralisation et augmente sa disponibilité. Il a été démontré que son absorption par la plante est meilleure en présence du biochar grâce à différents mécanismes : c'est une source directe de nutriments avec un stock de phosphore lié au complexe d'échange, il y a des modifications du pH du sol dont dépend la solubilité des composés avec phosphore et finalement la minéralisation du phosphore améliorée grâce à une meilleure activité microbienne (Sparkes et al., 2011). Cet apport en nutriments importants pourrait expliquer l'effet à court terme du biochar sur la croissance des plantes, surtout car la disponibilité en P ne peut pas être augmentée uniquement avec une hausse de la matière organique dans le sol (Sohi et al., 2010). Le contenu élevé en P dans les cendres peut dès lors aider les systèmes agricoles grâce à un apport qui permet de ne pas utiliser des inputs externes issus de sources limitées (Montanarella et al., 2013).

L'azote, quant à lui, est un nutriment essentiel pour la végétation. Le contenu en matière organique et la concentration en N dans le biochar dépendent du ratio C/N du matériel de départ (De la Rosa et al., 2014). Le biochar dans le sol peut dans certains cas rendre l'azote davantage disponible en participant à sa transformation. Il permet alors sa meilleure rétention dans les sols amendés en stimulant l'immobilisation microbienne sur le court terme et en augmentant le recyclage des nitrates (NO_3) (Verheijen et al., 2010). Les microorganismes du sol sont donc responsables de

la fixation biotique de l'azote atmosphérique, mais aussi de sa minéralisation. Cette dernière est la transformation de l'azote retenu sous forme organique (dans l'humus, les plantes décomposées et les matières animales) afin de les rendre disponibles pour l'absorption, sous forme d'ammonium (NH_4) et de nitrate. La minéralisation consiste en deux changements principaux qui sont catalysés par différents groupes de biotopes. D'abord l'azote organique est ammonifié en ammonium et vient ensuite la nitrification en nitrate (Sparkes et al., 2011). L'effet d'accélération du cycle de l'azote est temporaire, sûrement à cause des effets du pH et de la fraction labile de C (Nelissen et al., 2015). Le biochar accélère donc le cycle de l'azote dans le sol par une minéralisation et une nitrification plus fortes ce qui augmente sa biodisponibilité (Nelissen et al., 2015). Dans d'autres cas, des recherches ont montré que le biochar serait capable de diminuer la disponibilité en azote dans des sols agricoles tropicaux. En effet, il peut lier l'ammonium de la solution du sol, ce qui réduit leur présence et disponibilité, et augmente leur concentration dans les particules de biochar. L'immobilisation rapide de l'azote dans le biochar devrait réduire ses pertes par lessivage (Sparkes et al., 2011).

Il faut garder en tête que l'N du biochar n'est pas forcément bénéfique aux cultures, car il est surtout présent sous forme indisponible. Les structures aromatiques et hétérocycliques contenant de l'N dans le biochar apparaissent à cause du chauffage et les structures labiles sont converties en formes récalcitrantes. Le ratio C :N qui augmente après addition de biochar est un indicateur de la capacité des substrats organiques à relâcher de l'N inorganique dans le sol (Verheijen et al., 2010).

Propriétés physiques

Les caractéristiques physiques du biochar peuvent directement ou indirectement affecter le système sol. Brady et Weil (2008) indiquent que tous les sols ont des propriétés physiques différentes qui dépendent des minéraux qui les composent, de la matière organique et des associations entre les deux. Bien entendu les relations avec les caractéristiques chimiques et biologiques sont nombreuses, tout est connecté (Lehmann et al., 2009).

Il est essentiel de comprendre que l'application de biochar dans le sol va modifier des paramètres importants influençant le comportement de la terre et des cultures. La texture du sol, sa structure, sa porosité, la taille des pores, la distribution des tailles de particules ou encore la densité vont changer (Lehmann et al., 2009).

Structure La dégradation thermique de la cellulose mène à une grande perte de masse sous la forme de composés volatils qui laissent une matrice rigide amorphe de carbone. Plus la température augmente, plus la proportion de carbone aromatique dans le biochar augmente, car il y a davantage de perte de matière volatile (l'eau, hydrocarbure, H_2 , C0 et CO_2). À 600°C le processus principal est la carbonisation qui enlève la majorité des atomes non-carbone et augmente donc son contenu jusqu'à 90% du poids. Une particule de biochar possède deux fractions structurelles principales : des feuilles de graphènes cristallines superposées et des structures aromatiques amorphes (Fig. A.7)(Verheijen et al., 2010). Par ailleurs, Kolb a montré que c'est cette texture plus fine qui a offert à la structure du sol une meilleure aération (Lehmann et al., 2009).

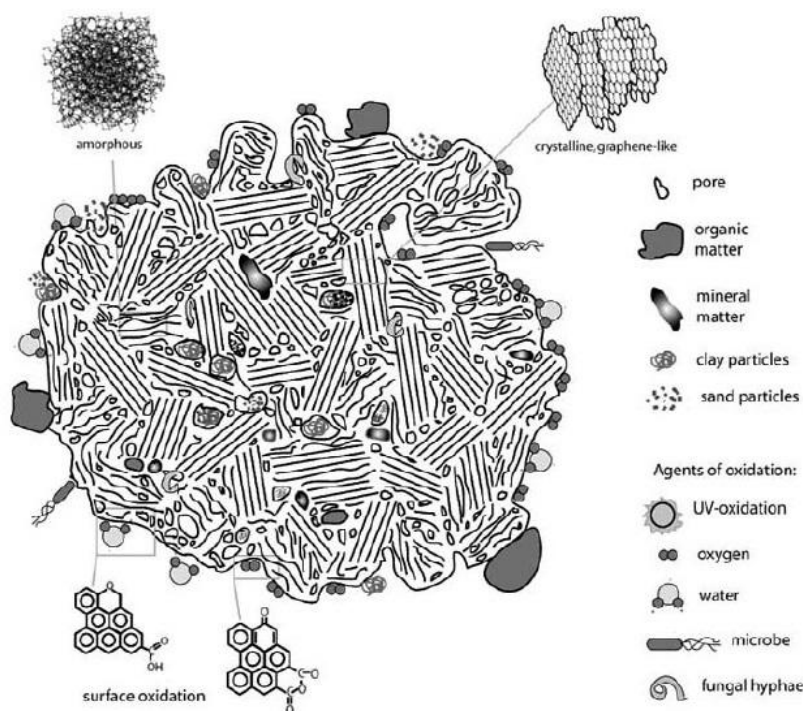


FIGURE A.7 – Modèle de l'organisation d'une particule de biochar dans le sol avec deux structures principales distinctes : les feuillets de graphène cristallins et les structures aromatiques amorphes qui les entourent ou les pores de tailles variées. (Source : Lehmann et al., 2009).

CEC La capacité d'échange cationique (CEC) du sol est la quantité de cations que peut retenir sa surface spécifique réactive à un certain pH. Elle est influencée par le biochar, mais aussi par les argiles ou la matière organique du sol. Cette surface est chargée négativement et les cations peuvent y être liés et/ou échangés (Verheijen et al., 2010).

Quand le biochar frais est exposé à l'oxygène et à l'eau dans l'environnement, une oxydation spontanée a lieu, ce qui mène à une augmentation de la charge négative et de la CEC (Sparkes et al., 2011). Le biochar affecte aussi l'agrégation du sol grâce aux interactions entre les micro-organismes, les minéraux et la matière organique. Or, la charge de surface et son développement dans le temps vont déterminer les effets à long terme sur cette agrégation. Les particules de biochar plus anciennes ont souvent une grande CEC ce qui leur offre un bon potentiel pour lier les minéraux et la matière organique (Verheijen et al., 2010).

La matière organique du sol est 50 fois meilleure en CEC que les autres minéraux, mais c'est une petite proportion de la masse du sol dans la majorité des situations agricoles, surtout dans des conditions tropicales (Sohi et al., 2010). Dans des sols tropicaux, il a été découvert que le biochar peut contribuer à augmenter la rétention en ions du sol et à diminuer le lessivage de la matière organique dissoute et des nutriments organiques (Verheijen et al., 2010).

pH le pH est peu différent entre les biochars et est généralement supérieur à 7 (Verheijen et al., 2010). Son acidité dépend du feedstock et des conditions de pyrolyse. Le biochar appliqué au sol est

souvent alcalin et pourrait augmenter le pH du sol où il est ajouté⁵ (Sparkes et al., 2011). Cependant un sol plus acide réduit la CEC et donc la disponibilité en nutriments. Dès lors l'effet à court terme du chaulage agricole du biochar offre des bénéfices aux sols arables (Verheijen et al., 2010). L'amendement au biochar qui ne change pas l'acidité dans certaines expériences peut être dû à l'effet tampon des carbonates du sol (Olmo et al., 2014). Cela implique une haute réactivité de surface des particules de biochar qui est attribuée à la présence de groupes fonctionnels dont certains dépendent du pH (Joseph et al., 2010).

Adsorption Le biochar a une affinité de sorption assez haute (encore plus développée que la matière organique) pour les composés organiques hydrophobes ; c'est pourquoi il peut servir de méthode pour limiter la mobilité et la toxicité des contaminants tels que des pesticides, des PCB (polychlorobiphényles), des herbicides... qui se retrouvent dans le sol ou dans les sédiments. L'adsorption des métaux lourds a été énoncée également, mais il est nécessaire d'approfondir les recherches à ce sujet. Il faut aussi rester attentif, car diminuer la mobilité peut résulter en l'accumulation à un endroit, ce qui impliquerait une absorption prolongée par les plantes (Verheijen et al., 2010). De plus, il absorbe des nutriments solubles tels que NH_4 , nitrate, P et d'autres ions en solution (Woolf, 2008).

L'adsorption sur le biochar est influencée par les propriétés chimique et physique du contaminant, mais aussi par les pores, la surface spécifique et la fonctionnalité du biochar. La poussière se réfère à la fraction fine et ultra fine du biochar, ce qui comprend des composés organiques et inorganiques de tailles micro et nanoscopiques. Cette fraction est un bon sorbant pour de nombreux contaminants hydrophobes dans le sol. Dès lors, l'application de poussière de biochar au sol augmenterait sa sorption pour les polluants environnementaux (Verheijen et al., 2010).

Taille des particules La distribution de tailles des particules diminue avec la température de pyrolyse croissante. En effet il y a une réduction de la résistance du matériel végétal lors du processus (Verheijen et al., 2010). L'impact direct de la taille des particules du biochar sur la texture du sol à l'échelle macroscopique est court dans le temps, car il se divise rapidement en particules de taille limoneuse (entre 2 et $50\mu\text{m}$) ou inférieure. Cela suggère un meilleur effet à long terme du biochar sur l'humidité du sol qui est en relation avec une texture plus fine (Sohi et al., 2010). Nous pouvons néanmoins assurer qu'une pyrolyse lente à basse température, ce que nous appliquerons, mène à de plus grandes particules (Lehmann et al., 2009).

Taille des pores La perte de masse durant la pyrolyse mène également à une formation d'un réseau poreux dans les particules. La structure vasculaire du matériel végétal original peut par exemple contribuer aux macro-pores ($1\mu\text{m}$ de diamètre) dans le biochar, tandis que les micro-pores (échelle du nm) sont surtout formés durant le processus de pyrolyse et sont la caractéristique principale de la grande surface spécifique du composé (Verheijen et al., 2010). Comme la pyrolyse enlève surtout les composés volatils, la macro-structure de la biomasse est gardée dans le biochar, mais des stress peuvent causer des fissures, ce qui laisse échapper des gaz volatiles qui créent des pores plus petits et qui ouvrent le matériel (Sparkes et al., 2011). La hausse de température de la pyrolyse favorise le développement de micro-pores jusqu'à un certain seuil où la structure se brise. Nous observons aussi une grande perte de

5. Ce phénomène s'appelle l'effet de chaulage.

la complexité de la structure dans le biochar lors du processus, et plus la température et la pression augmentent, plus la porosité diminue (Lehmann et al., 2009 ; Verheijen et al., 2010). La porosité du sol après amendement augmente, quant à elle, grâce à la taille et l'agencement des particules dans le sol et aussi grâce aux pores internes de la structure du biochar. Augmenter la porosité du sol permet d'augmenter la surface spécifique, donc la rétention de l'eau est meilleure (Sparkes et al., 2011).

Le biochar augmente l'eau disponible dans les sols sableux, a un effet moins visible en terrains limoneux et diminue la disponibilité dans les sols argileux. Cela suggère que son addition au sol pourrait être négative pour les sols argileux, mais serait surtout une solution pour inverser la désertification (Woolf, 2008). Cependant, il faut garder à l'esprit que même si les sols argileux retiennent plus d'eau, cette quantité n'est pas forcément disponible pour la plante (Koide et al., 2014).

Un facteur encore incertain du biochar sur le long terme est l'obstruction potentielle des pores du sol avec les petites particules du biochar. Cette possibilité de bouchon amènerait à l'augmentation du ruissellement et une diminution du taux d'infiltration (Verheijen et al., 2010).

Densité apparente Le biochar est un composé friable et assez léger. Il va réduire la densité apparente du sol qui est le rapport de masse de solide sur un volume total comprenant l'air et l'eau interstitielle. Or, la perte de sol par érosion est le résultat d'activités anthropiques qui s'ajoutent à la formation naturelle du sol et causent une perte de leurs fonctions. Les effets du biochar pour diminuer l'érosion n'ont pas été prouvés et la faible densité du biochar en fait un élément facilement érodé par le vent pour les petites particules et par l'eau pour les plus grandes (Verheijen et al., 2010).

Surface spécifique La surface spécifique des particules du sol est la surface réelle qui est exposée vers l'extérieure et qui joue un rôle dans les phénomènes d'adsorption. Comme dit précédemment, le biochar, qui a une grande surface spécifique, tend à augmenter la capacité d'adsorption en eau et le taux d'infiltration de certains sols (Sparkes et al., 2011). Les bénéfices engendrés pour l'agriculture grâce au biochar vont donc dépendre en partie de la taille des pores dans la zone racinaire (Verheijen et al., 2010). Cependant, plus la température de pyrolyse augmente plus la surface spécifique du biochar diminue (Lehmann et al., 2009).

C'est un critère particulièrement important, car il influence des fonctions telles que le contenu en eau et en air, la fertilité, le cycle des nutriments ou encore l'activité microbienne. Les sables ont une faible surface spécifique et retiennent peu l'eau tandis que celle des argiles est beaucoup plus haute et ils en contiennent alors beaucoup. Il a été rapporté que la matière organique permet aux sables une meilleure rétention en eau et aux argiles, une meilleure dispersion. Le biochar a démontré avoir les mêmes propriétés ; il augmente donc bien la surface spécifique du sol, d'autant plus si la température de pyrolyse augmente (jusqu'à une température seuil) (Lehmann et al., 2009).

Albedo Grâce à l'assombrissement du sol par l'apport de biochar, surtout ceux avec peu de matière organique, l'absorption d'énergie solaire augmente et l'albédo du sol diminue. Ce dernier est la mesure de la réflexion d'une surface qui joue un rôle important dans le changement climatique. Selon le contenu

en eau et la couverture végétale, l'addition de biochar pourrait aussi augmenter la température du sol (Sohi et al., 2010). Ces effets pourraient accélérer le cycle des nutriments et allonger les périodes de croissance dans les climats tempérés. Cependant avec une application large du biochar, cela diminuerait aussi l'albédo total de la surface de la terre, ce qui contribuerait aux changements climatiques et au réchauffement de la planète (Sparkes et al., 2011).

Stabilité

La stabilité chimique du biochar s'explique par sa structure aromatique et son contenu élevé en carbone. Ce dernier est variable dans les différents biochars et dépend du feedstock ainsi que des conditions de pyrolyse. Or, à cause de sa structure aromatique, le carbone du biochar est physiquement et biologiquement plus stable que le carbone dans la biomasse d'origine (Sparkes et al., 2011). De plus, les biochars produits à haute température contiennent plus de carbone aromatique, ce qui les rend davantage inertes. Cependant, la fraction la plus fine des poussières de biochar qui possède le carbone aromatique condensé est la portion la plus récalcitrante dans le système naturel. La décomposition du "Black Carbon", plus stable que les composés avec carbone du sol, a été davantage étudiée que celle du biochar, mais nous pouvons supposer des mécanismes similaires, car leurs compositions physiques et chimiques sont très semblables (Verheijen et al., 2010).

Le biochar n'est plus considéré comme inerte malgré que les réactions de dégradation dans le sol ne sont pas complètement comprises. Dans l'environnement naturel, les décompositions photochimiques et microbiennes sont des mécanismes de dégradations primaires qui altèrent la chimie de surface du biochar et ses propriétés fonctionnelles. Des études ont montré que la décomposition biologique est très lente et serait mineure comparée à la dégradation abiotique (Verheijen et al., 2010).

Sur le court terme, les processus abiotiques ont davantage d'impact sur la décomposition du biochar. Cependant elle ne se passe qu'à la surface et dès l'oxydation, les processus biotiques deviennent plus importants. On trouve à court terme, après l'ajout de matière organique dans le sol, un *Priming effect* qui est défini comme l'accélération de la décomposition du carbone du sol par l'apport de carbone frais dans le sol. Ce changement à court terme est fonction des changements de composition de la communauté microbienne dûs à cet apport de carbone frais. Il est proposé aujourd'hui que l'oxydation biotique peut devenir plus efficace si la taille des particules a diminué par l'altération du biochar (Verheijen et al., 2010).

Les particules de biochar dans le sol sont discrètes ou enfoncées et liées aux minéraux (surtout argile et limon). La translocation du biochar dans le profil du sol peut se faire via le vent et surtout l'eau. Nous pouvons poser l'hypothèse que la solubilisation, le lessivage et la translocation du biochar dans le profil du sol et dans le système hydrologique seront améliorés par de longues expositions dans le sol. La décomposition microbienne va alors augmenter en fonction du temps dans le sol et de la taille des particules de biochar qui diminue (Verheijen et al., 2010).

Concernant la dynamique de la matière organique du sol, la récalcitrance primaire se réfère à celle de la matière végétale originelle tandis que la secondaire concerne les produits brûlés comme le "Black

Carbon". La stabilité de la matière organique dans le sol résulte de sa récalitrance, des altérations organominérales et de l'accessibilité.

Malgré que le temps de résidence du biochar dans le sol dépende de sa décomposition physico-chimique, biologique ou bien de la mobilité des particules, des chercheurs proposent que le feedstock (et son degré d'aromaticité) et les modèles agricoles (qui influencent la composition en nutriment de la rhizosphère) participent au taux de dégradation du biochar dans le sol. D'autres assurent les effets des facteurs climatiques (surtout la température) sur son oxydation. En résumé, le long temps de résidence du biochar dans le sol s'explique par les mécanismes de stabilisation physiques et chimiques, qui influencent ses caractéristiques (distribution des tailles de pores et de particules, chimie de surface, etc.) (Verheijen et al., 2010).

Critiques

Concernant les critiques, des problèmes environnementaux visant l'application du biochar sont très étudiés pour le moment : addition non équitable de nutriments, impact négatif possible sur le biotope du sol, sorption de contaminants et impact sur leur efficacité, addition potentielle de composés toxiques (métaux lourds), pollution par la poussière ou l'érosion, émission d'aérosols lors de la pyrolyse ou effet sur l'albédo de surface... (Arbestain et al., 2014).

Aussi avec la production de biochar, il y a un risque de pollution atmosphérique. De grandes quantités de composés volatils organiques ou inorganiques sont émises durant la pyrolyse de biomasse surtout à haute température (Verheijen et al., 2010).

Au point de vue de la sécurité et de la santé, la production de biochar, son transport et son stockage pourraient poser des problèmes pour les travailleurs qui sont exposés à la poussière. En effet, ces nano particules ont une dimension inférieure à 100nm et risquent d'affecter le système respiratoire ou digestif (Verheijen et al., 2010).

À propos des produits toxiques qui pourraient être créés lors de la pyrolyse, il y a deux classes de composés qui sont les PAH et les dioxines. Les dioxines sont formées à très haute température, mais leur absence dans le biochar n'a pas encore été prouvée. La présence des PAH à des températures plus basses est bien établie, mais ils peuvent se former à de basse concentration (Sohi et al., 2010).

Et puis, à une échelle globale, le biochar sera-t-il une autre demande d'utilisation des terres ou bien est-ce que les synergies entre le biochar et les autres terres pourraient nous aider à remplir des besoins ? (Woolf, 2008).

Finalement, il faut prendre conscience que les impacts du biochar sur l'environnement global doivent être encore étudiés pour bien maîtriser tous les effets, bénéfiques ou non, qui pourraient avoir lieu.

A.1.2 Silicium

Introduction

Le silicium Si est l'élément le plus présent dans la lithosphère après l'oxygène, et ce, majoritairement sous forme de minéraux silicatés (Meunier, 2003 ; Guntzer et al., 2012). Il n'est pas considéré comme nutriment essentiel en agriculture, mais pourtant il a des bénéfices reconnus et se dépose dans la majorité des plantes, surtout chez les monocotylédones ou chez les végétaux qui l'accumulent comme le riz, le maïs ou la canne à sucre.

Sur une échelle de temps géologique, le Si est issu de l'altération des minéraux et a eu un rôle majeur dans la pédogenèse. Les interactions entre les cycles du C et du Si régulent la quantité de CO₂ atmosphérique grâce à la séquestration du carbone organique dans le sol sous forme de complexes stables, et par la nutrition du phytoplancton en Si dissout (Cornelis et al., 2011).

En plus de son rôle dans la pédogenèse des sols, ce composé a un impact important et souvent valorisant sur les plantes (Meunier, 2003). On y trouve des quantités de silicium entre 0,1 et 10% de son poids sec (Epstein, 1999). Ses avantages sont par exemple une meilleure résistance aux pathogènes, une meilleure tolérance à la sécheresse, aux métaux lourds, un support végétal plus robuste ou encore des améliorations des rendements culturaux (Agripower, 2011). De plus, la croissance et le développement du coton *Gossypium Hirsutum* sont affectés positivement par la présence de Si dans le sol (Epstein, 1999) et on énonce également son utilité pour réduire la toxicité de l'Al (Provance-Bowley, 2013).

Le Silicium s'inscrit alors dans le mémoire, car c'est un sujet d'actualité qui pourrait être voué à des avancées environnementales et agronomiques dans les prochaines années. En effet, il y a aujourd'hui un déficit en Si sur certains sols, soit à cause de culture intensive, soit par un taux élevé d'altération dans certaines régions. Ceci se passe notamment dans les sols tropicaux très altérés comme les oxisols, sols principaux au Burkina Faso qui sont très altérés, avec un faible taux de base de saturation et un pH très acide. Or, pendant que certains éléments disponibles pour la plante sont restaurés par des fertilisants standards, le Si ne l'est pas.

Cycle du Silicium

Le cycle du silicium peut être représenté par 5 composantes principales : la biomasse, le sol, la solution du sol, l'eau de la nappe et les rivières. Ils sont tous reliés au cycle global par deux réservoirs majeurs qui sont l'atmosphère et les océans (Cornelis et al., 2011).

Pour ce cycle biogéochimique qui prend part dans le sol, les minéraux silicatés (MSi) subissent une altération chimique et physique, qui résulte en la libération de Si en solution, l'acide monosilicique ou H₄SiO₄ (Fig. A.8). En effet, il y a un réservoir illimité de minéraux primaires dans la croûte terrestre qui vont être transférés, via l'altération des roches, en minéraux secondaires. Ce silicium soluble va, soit se combiner avec d'autres éléments pour former des argiles, soit être emporté par les flux d'eau. Avant d'être mené vers les océans, le Si dissout peut être absorbé par les plantes ou par le phytoplancton et les diatomées, et précipite sous forme d'opale biogène (BSi) qui est nettement plus

soluble et mobile que le MSi (Cornelis et al., 2011). Un chercheur a estimé que la quantité annuelle de Si stockée par les plantes est de 60 à 200 Tmol/an, ce qui est du même ordre que le stockage dans les diatomées (240 Tmol/an) (Guntzer et al., 2012). Le silicium dissout dans les rivières sert de source de nutriment aux diatomées. Celles-ci jouent un grand rôle environnemental dans la biologie marine comme élément clé dans la chaîne trophique et dans le contrôle du niveau en CO_2 , car c'est un puits de carbone (Meunier, 2003). On trouve donc de l'opale biogénique amorphe ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) chez les plantes, mais aussi lors de la croissance des diatomées et des algues siliceuses, car le squelette est siliceux chez ces organismes vivants.

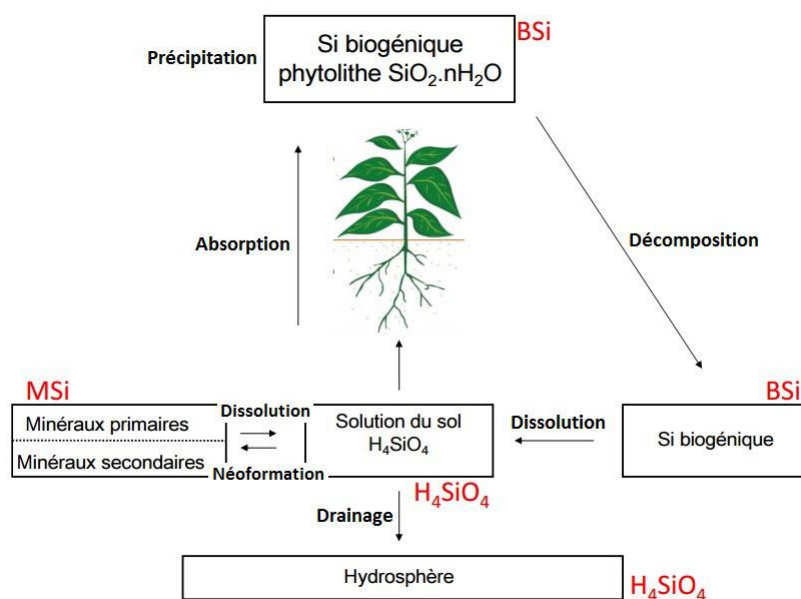


FIGURE A.8 – On trouve dans le sol du BSi (Si biogénique), du MSi (Si minéral) et du H_4SiO_4 . Les plantes, quant à elles, contiennent du BSi. (Source : Cours d'introduction à l'ingénierie de la biosphère, UCL. Partie S. Opfergelt, 2015).

De plus, il y a un passage de silicium entre la lithosphère et la biosphère. Une partie des éléments captés par la plante sera stockée dans la biomasse tandis que l'autre partie retournera au sol à cause des retombées des débris (Meunier, 2003). Les phytolithes localisés principalement dans les feuilles retournent alors au sol, dans la litière, si la récolte les laisse sur place. Selon des études récentes sur le cycle du Si et les processus d'altération de minéraux silicates, les phytolithes pourraient contribuer fortement au réapprovisionnement de Si aux plantes (Guntzer et al., 2012). Des processus tels que le recyclage, l'immobilisation ou l'exportation rentrent en compte (Cornelis et al., 2011).

Aussi, les poussières provenant de l'atmosphère contiennent du silicium et doivent être prises en compte dans ce cycle. L'érosion par le vent à la surface du sol est un canal important du transport du Si vers les océans ou vers d'autres surfaces (Cornelis et al., 2011).

Finalement, le cycle global du silicium est influencé par différents facteurs, tels que le type de végétation, le développement du sol ou encore le climat (humidité et la température), mais aujourd'hui, les actions anthropiques sont également à prendre en considération (Cornelis et al., 2011).

Formes

Le sol contient de 5 à 40% de Si majoritairement sous forme peu soluble comme le quartz (SiO_2) (Fig. A.9) ou de silicate cristallin très peu soluble. Donc, même si le Si est abondant, il n'est pas toujours disponible pour la plante (Agripower, 2011).

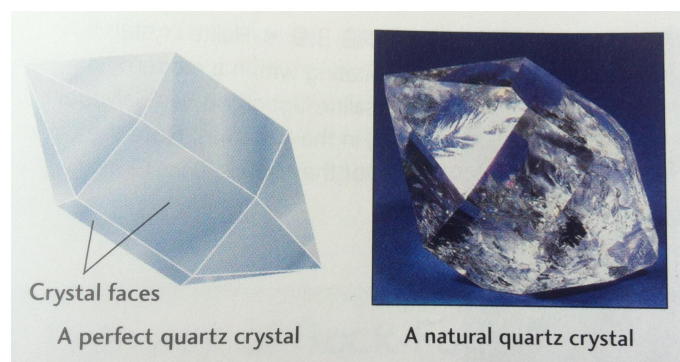


FIGURE A.9 – Comparaison entre le schéma de la géométrie d'un cristal de quartz et un cristal de quartz naturel. (Source : Understanding Earth : 6th edition, 2010. Grotzinger J., Jordan T. Freeman)

Parmi les formes du Si, on retrouve l'opale biogénique qui est créée par les organismes vivants et qui précipite (plantes, algues...), le Si minéral dans les silicates et le H_4SiO_4 qui est la forme dissoute très facilement transportable et mobile, seule forme disponible pour la plante. Le Si dissout dans la solution du sol est celui qui provient de l'altération des minéraux et qui peut être capté par les racines des plantes, tandis que la décomposition des feuilles apporte le Si biogène dans le sol, mais il ne se trouvera jamais au temps 0. Dans ce cycle sol-plante du Si, l'opale biogénique s'appelle aussi phytolithe. Il précipite d'une phase aqueuse au niveau des feuilles et des stomates par sursaturation et polymérise en gel de silice $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ou en opale biogène amorphe (Aziz, 2002). Les phytolithes ont des morphologies différentes selon l'espèce végétale ou l'emplacement du dépôt dans la plante.

Il existe plusieurs catégories de silice biogène : les phytolithes, les diatomées et les spicules d'éponge. Ces particules peuvent rejoindre le sol par des apports atmosphériques (érosion par le vent, volcan...).

Le terme *amorphe* signifie que le Si est bien sous forme solide, mais que l'entité n'a pas de forme particulière, au contraire des formes cristallines qui ont des propriétés géométriques et qui peuvent être classées. Les phytolithes ont une structure semblable aux autres formes de silice biogène comme les diatomées, et sont constitués d'un réseau aléatoire d'unités tétraédriques SiO_4 connectées entre elles par des liaisons covalentes Si-O-Si. L'opale A, amorphe, est la forme de silice la plus soluble du système Si – H_2O et est présente dans le sol (Meunier, 2003) et son taux de dissolution augmente avec le pH du sol (Guntzer et al., 2012).

Il existe une centaine de silicates cristallins recensés à ce jour ainsi que différentes variétés de formes amorphes de silice inorganique ou biogène, ou encore de silicates peu cristallins (Fig. A.10). Par exemple, d'autres formes de Si dans le sol sont les allophanes et les imogolites, deux types de phyllosilicates amorphes. Nous nous intéressons aux formes qui rentrent dans les interactions sol-plante

et dans le biochar. À propos des sols altérés, le silicium y est très peu présent et est majoritairement sous forme de minéraux silicatés, primaires ou secondaires, surtout des phyllosilicates (Cornelis et al., 2011).

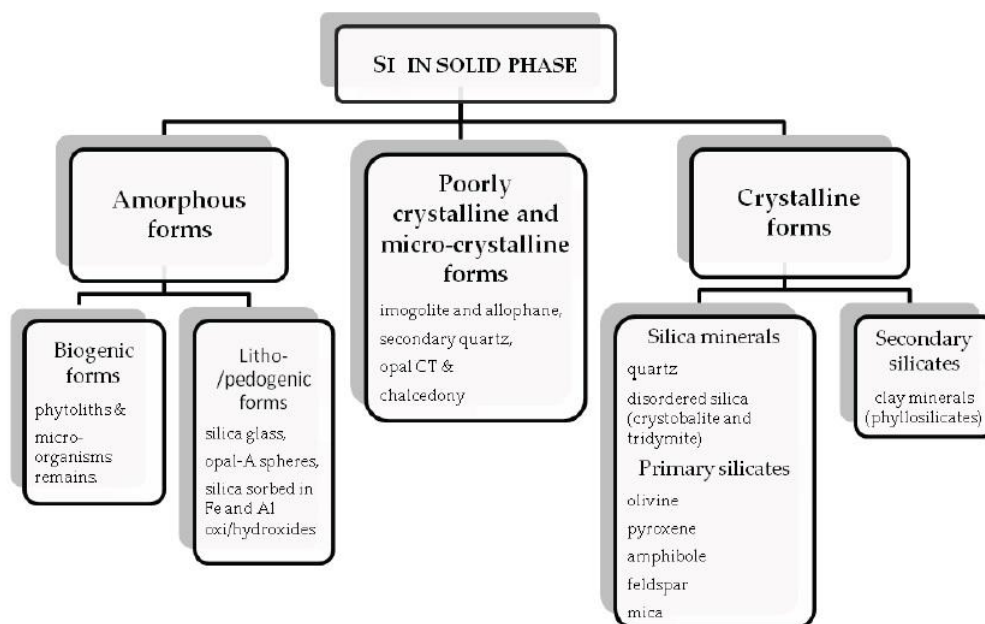


FIGURE A.10 – Classification des composés solides de Si dans le sol. (Source : Cornelis et al., 2011).

Solubilité

La solubilité du Si dans le sol est affectée par de nombreux processus dynamiques comme la taille des particules de l'amendement au Si, le pH du sol, les complexes organiques, la présence d'Al, de Fe ou ions P, mais aussi la température, les réactions d'échange ou de dissolution et l'humidité du sol (Agripower, 2011). En outre, la disponibilité en Si dans le sol est, quant à elle, affectée par le contenu en argile, le taux d'altération et le matériau parental (Liu et al., 2014). À propos des phytolithes, ils peuvent, soit se dissoudre, soit résister à l'altération chimique. Il a été prouvé que cette altération peut être corrélée à la présence de carbone organique (Meunier, 2003). De plus, on peut remarquer que la distribution en phytolithe dans le sol varie avec la profondeur et qu'un équilibre se fait : de plus grandes concentrations sont en surface là où la litière se situe, tandis que l'on retrouve une sortie de phytolithe vers le bas à cause de sa dissolution (Guntzer et al., 2012).

Dans l'altération des phases minérales, qui s'effectue toujours avec consommation de CO_2 , on trouve la dissolution des carbonates (addition de H_2O et CO_2 à $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ou CaCO_3 qui libèrent du Ca ou du Mg en solution ainsi que de l'acide carbonique HCO_3^-) et des silicates qui vont aussi libérer de l'acide carbonique et de l'acide monosilicique très mobile. Cette dernière dissolution fait le lien entre les cycles du carbone et du Si (Fig. A.11). Les seconds liens entre ces cycles sont les diatomées qui sont des organismes photosynthétiques.

Mais quels sont les minéraux silicatés, qui sont altérés et qui donnent ce Si en solution ? Ils sont variés, tant en forme qu'en propriétés physico-chimiques (CEC...)(Guntzer et al., 2012). Leur

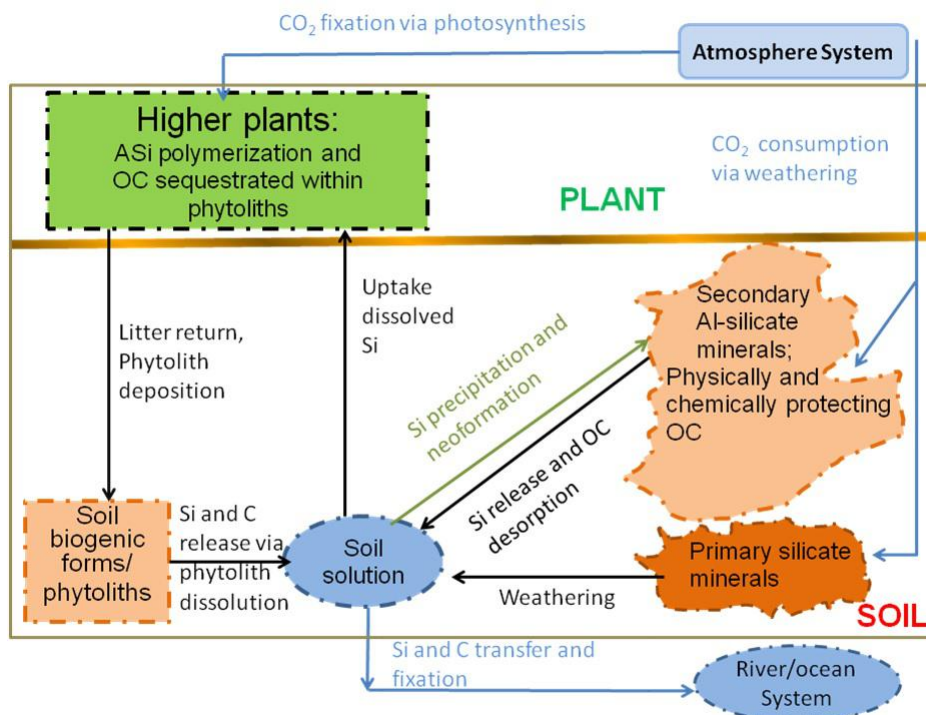


FIGURE A.11 – Les cycles couplés du silicium et du carbone dans l'écosystème sol-plante. (Source : Song et al., 2012).

taux d'altération, ainsi que celui des phytolithes, est important pour le développement du sol, ses capacités de tampon, le contrôle du cycle du carbone et enfin le cycle de plusieurs éléments inorganiques, critiques pour la fertilité du sol. Les facteurs qui affectent cette altération sont les propriétés physico-chimiques mêmes du minéral ou du milieu (humidité, température, pH, surface spécifique...). Finalement, les minéraux primaires sont les moins stables/plus solubles tandis que les phyllosilicates secondaires sont beaucoup moins solubles (kaolinites, allophanes, (hydr)oxyde de fer ou d'aluminium...) (Cornelis et al., 2011).

Comme énoncé précédemment, les différentes sources de Si ont des taux de dissolution différents : la solubilité du quartz est bien plus lente que celle de la silice amorphe facilement soluble ou des diatomées (Agripower, 2011). La solubilité des polymorphes⁶ de silice est constante entre les pH 2 et 8,5 mais elle augmente si le pH est proche de 9. Cette différence de solubilité entre la silice amorphe et le quartz est due à la compaction des tétraèdres et de l'organisation du cristal. La dissolution de la silice polymorphe par l'eau, à un pH inférieur à 9, se fait la réaction (Cornelis et al., 2011) :



À prendre en considération, la sorption de l'aluminium ou d'autres métaux bi ou trivalents (fer, zinc, cuivre) vont affecter les propriétés de surface de la silice et diminuer leur dissolution (Cornelis et al., 2011).

6. cristallin ou amorphe.

Enfin, les plantes et les microorganismes sont en relation directe avec le taux d'altération des minéraux silicatés, et ce, de plusieurs façons (cours de...) :

- ils affectent la température du sol ;
- ils protègent le sol contre l'érosion ;
- ils génèrent des chélations avec ligands⁷ ;
- ils changent le pH par production de CO₂ et d'acides organiques ;
- ils modifient la concentration d'éléments en solution en absorbant par les racines ou en ajoutant de la matière dans la litière ;
- ils alternent les propriétés physiques du sol, surtout la surface exposée des minéraux et le temps de résidence de l'eau ;
- la prise d'acide monosilicique par les plantes diminue sa concentration en solution, ce qui fait croître le taux d'altération des minéraux par le principe de Lechatelier.

Rôles

La pédogenèse des minéraux secondaires silicatés (phyllosilicates, silice et les aluminosilicates) est très influencée par la concentration de silicium en solution. Celle-ci est fonction du matériel parental qui peut se dégrader en Si dissout, et du climat qui est en relation avec l'altération et le lessivage de l'acide monosilicique. Le climat, dont la température et l'humidité sont des variables, est un facteur décisif pour la distribution du silicium dans les sols (Cornelis et al., 2011).

La concentration en Si dans la solution du sol dépend fortement de l'équilibre avec les phases secondaires, lui-même dépendant de l'état de développement du sol relié à son âge, au climat et au matériel parental (Cornelis et al., 2011). Les concentrations faibles se justifient par une érosion sévère et fréquente du sol, un transport des sédiments hors du milieu, une absorption possible des plantes de quantités parfois aussi élevées que pour d'autres macronutriments et finalement par perte due au lessivage (Meena et al., 2014). Pour des sols tropicaux très altérés comme au Burkina Faso, le lessivage du Si est très fort et les solutions du sol sont sans Si dissout. Les minéraux qui en possèdent sont des argiles pauvres en Si comme le groupe des kaolinites avec un ratio Si/Al proche de 1 (Cornelis et al., 2011).

Le Si se stabilise dans le sol en complexant avec de la matière organique en solution, mais il peut aussi s'associer à l'aluminium en fonction du pH. Plusieurs processus sont liés à la régulation du silicium en solution (Fig. A.12), et certaines réactions biogéochimiques sont intimement liées au sol : la précipitation et néoformation de constituants contenant du Si présent sur place dès le départ et l'adsorption ou désorption sur différentes phases solides. À cela s'ajoutent la dissolution des phases solides abordées précédemment, l'absorption par les plantes et la préservation des formes stables dans le profil (Cornelis et al., 2011).

7. un processus physico-chimique au cours duquel est formé un complexe, le chélate, entre un ligand, dit chélateur (ou chélatant), et un cation (ou atome) métallique, alors complexé, dit chélaté (Source : wikipedia).

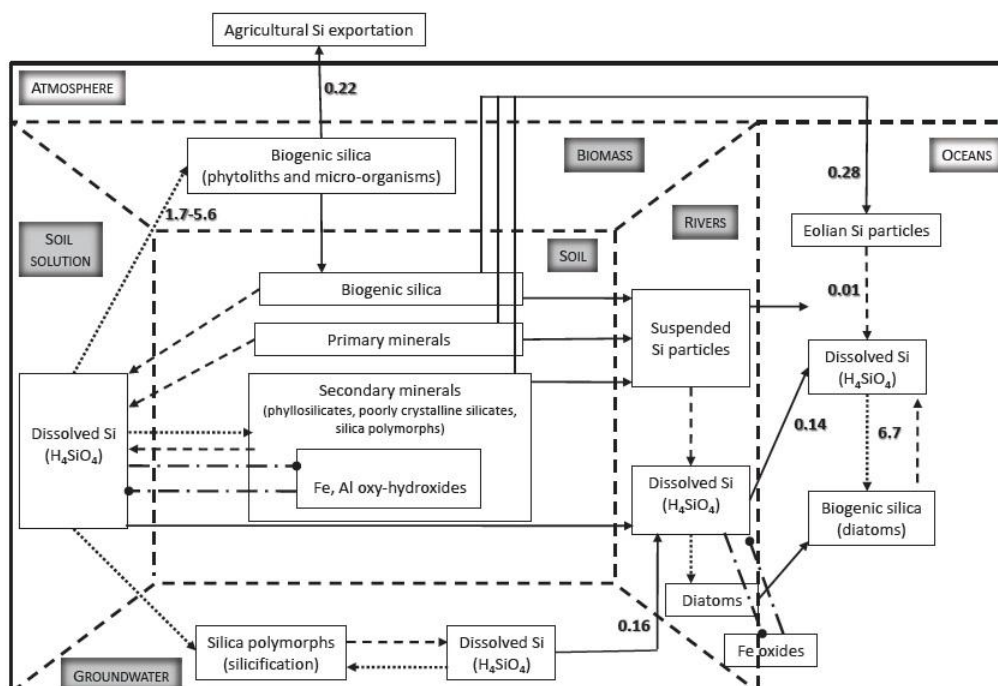


FIGURE A.12 – Cycle biogéochimique du silicium sur les continents. Trait continu : transport ; trait pointillé : dissolution ; fin trait en pointillés continus : néoformation/précipitation ; traits et points intermittents : adsorption/désorption. Les chiffres indiquent les transferts de Si entre les pools en 10^{12} kg de Si/an. (Source : Cornelis et al., 2011).

Le Si biogène a une fonction importante dans la néoformation des minéraux secondaires et joue un rôle dans la formation des minéraux argileux grâce à sa migration vers le bas du profil (Meunier, 2003). La dissolution partielle des phytolithes à la surface du sol fournit du silicium qui sera alors séquestré dans les horizons supérieurs sous forme de minéraux secondaires par cette néoformation des argiles ou bien par adsorption (Cornelis et al., 2011).

À propos de cette adsorption, l'acide monosilicique peut être retiré de la solution par ce phénomène sur des phases solides comme des oxydes ou hydroxydes de fer ou d'aluminium. Malgré une faible adsorption sur les minéraux secondaires argileux, les oxydes de Fer et Al sont les principaux avec une capacité d'adsorption significative en Si. Le H_4SiO_4 est spécifiquement adsorbé sur les oxydes secondaires. Cette action dépend du pH et du type de métal (oxyde d'Al est plus efficace pour le H_4SiO_4 que l'oxyde de fer) or comme les oxydes de fer sont omniprésents dans les sols, ils contrôlent partiellement la concentration en Si dans la phase aqueuse (Cornelis et al., 2011).

Aussi, la majorité des minéraux secondaires portant du silicium sont des minéraux argileux dont la néoformation est fonction de l'aluminium disponible. Or si ce dernier est séquestré ou lessivé en dehors du sol comme les composés organométalliques, les minéraux secondaires ne vont pas précipiter et la formation d'un podzol commence. Par conséquent, le type de sol influence aussi la forme et le contenu en silicium (Cornelis et al., 2011).

Plante

La silice du sol est polymérisée et donc le Si est indisponible pour les plantes sous cette forme. Il est nécessaire de dépolymériser ces molécules pour le rendre soluble et absorbable par les végétaux. Ceci se fait par réactions biologiques ou chimiques dans le sol. D'ailleurs, le Si enlevé des sols arables dans le monde est estimé à 210-224 millions de tonnes/an (Meena et al., 2014).

Le silicium capté par les racines de la plante est uniquement sous forme soluble non chargée, H_4SiO_4 , et se nomme alors Si dissout ou acide monosilicique. On peut aussi le trouver sous forme d'acide polysilicique (polymère du monosilicique) ou en complexe avec des composés organiques ou inorganiques comme des oxydes ou hydroxydes d'aluminium. Dans le xylème de la plante, après absorption, on ne retrouve cependant que de l'acide monosilicique et quelques disiliciques, mais pour le moment, aucun complexe organique n'a encore été détecté (Epstein, 2009). En effet, des chercheurs suggèrent que le Si joue un rôle dans la formation des liaisons entre la lignine et les carbonates, mais rien n'a encore été prouvé (Guntzer et al., 2012). Ensuite, 90% du Silicium disponible en solution pour la plante est transporté via le xylème et se dirige dans la partie foliaire, moins dans les racines (Agripower, 2011). Celui-ci va précipiter dans les parties aériennes de la plante sous la forme $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ par une réaction non enzymatique et sera indisponible pour la retranslocation après polymérisation ; c'est pourquoi les phytolithes seront relâchés à la surface du sol après décomposition de la matière organique (Cornélis et al., 2011). Ces particules biogéniques précipitent et sont des solides amorphes qui peuvent servir de système taxonomique pour les différencier (Meunier, 2003). Dès lors, c'est la transpiration qui est le facteur de régulation le plus important du dépôt de silice dans les feuilles (Guntzer et al., 2012). Les différences d'accumulation de Si dans les plantes s'expliquent par la capacité de captage des racines. Il se stocke en grande concentration dans les tissus plus âgés, dépend de l'espèce de la plante, du cultivar⁸, de son code génétique et de la disponibilité externe en Silicium pour la plante (Agripower, 2011). Les principaux sites de silifications dans les feuilles sont les espaces intercellulaires, les parois et les vides cellulaires (Meunier, 2003).

Il est essentiel de savoir que les effets bénéfiques du Si sont évidents en condition de stress, car il offre surtout une protection de la plante contre les stress biotiques (qui concernent les pressions biologiques, les parasites) ou abiotiques (les impacts négatifs de l'environnement comme la sécheresse, le vent, la gravité, les métaux toxiques...) (Agripower, 2011). Néanmoins, une application en Si permet aussi d'optimiser la fertilité notamment en maintenant les nutriments sous forme disponible pour la plante (Meena et al., 2014).

Les phytolithes qui s'associent à la cellulose des feuilles permettent une meilleure robustesse et fournissent dès lors une stabilité physique. Cette amélioration de posture assure alors une réception optimale de la lumière. Il a également été découvert que les feuilles sont plus foncées, rigides et plus lentes à la sénescence, ce qui augmente leur potentiel pour la photosynthèse et améliore leur croissance. De plus, la déposition de Si diminue la transpiration et par conséquent engendre également cette meilleure robustesse, mais aussi une résistance aux écarts de température, aux radiations et à

8. "Cultivar signifie variété cultivée. C'est une plante qui a été spécifiquement sélectionnée pour ses qualités. Il peut être hybride, ou bien sous une forme supérieure sur quelques points en comparaison avec les variétés sauvages". (Source : Agripower, 2011).

la sécheresse. Aujourd'hui, d'autres recherches posent l'hypothèse que le Si joue un rôle biochimique dans la synthèse intracellulaire des composés organiques, ce qui expliquerait sa présence marquée dans la sève (entre 0,5 et 8% du Si total) (Agripower, 2011).

Concernant les pressions biotiques, le Si déposé dans l'épiderme permet de déloger les jeunes larves avant d'atteindre la sève et rend plus difficile l'accès aux insectes pour se nourrir. C'est aussi une protection contre les maladies grâce à cette barrière physique qui empêche la pénétration de champignons et donc l'infection. De plus, le Si soluble uniquement agirait comme un modulateur sur la résistance de l'hôte aux pathogènes ; il améliorerait la synthèse de métabolites secondaires de défense qui influencent les interactions entre la plante et les ravageurs ou bien il pourrait altérer l'expression de gènes dans le but de former des composés organiques de défense. On peut donc conclure que le Si joue le rôle de protection pour la plante de façon chimique et physique (Epstein, 2009).

Finalement, le fer, le manganèse et l'aluminium sont des métaux dont la toxicité diminue en présence de Si. L'acide silicique va permettre la formation d'aluminosilicates et offre alors une détoxification de l'aluminium dans le sol. Le dépôt de Si dans les racines diminue, quant à lui, les sites de liaison des métaux, ce qui baisse l'absorption et la translocation de sels et métaux toxiques des racines vers les feuilles. La silice SiO_2 va complexer dans les racines avec le Mn qui va alors être moins absorbé par la plante tandis qu'il y a une hausse de la disponibilité interne en P grâce à la détoxification précédente dans les parties aériennes (Meena et al., 2014).

Aluminium

Le silicium est bien connu comme une partie de la structure du sol qui se lie avec l'aluminium. Cette liaison d'aluminium se passe dans le sol et au niveau des racines, ce qui réduit la consommation toxique jusque dans les feuilles. À des concentrations faibles d'Al en solution, l'application de silicate de sodium sur des cultures a des effets négligeables. Cependant, avec de plus hauts taux d'aluminium et de silicium, celui réactif diminue de 6 à 15 % (Provance-Bowley, 2013).

Au-delà du fait que les coatings d'aluminium répriment la solubilité de la silice, la diminution de l'activité de l'Al dans la solution du sol devrait augmenter la dissolution des minéraux secondaires qui en contiennent et donc relâcher du H_4SiO_4 . De plus la précipitation de l'acide monosilicique avec les hydroxydes d'Al forme des hydroxialuminosilicates qui peuvent être considérés comme précurseurs amorphes à l'imogolite. Dans des environnements où l'humus est actif et où la décomposition est forte, ce complexe Al-matière organique inhibe l'apparition d'allophane et d'imogolite et favorise plutôt la formation de silice opaline (Cornelis et al., 2011).

A.1.3 Coton

Des chercheurs ont trouvé qu'en appliquant 75kg de fertilisant-Si de haute qualité (concentration de Si soluble supérieure à 50%) par hectare lors des stades de bourgeonnement et de fleurissement du coton, le nombre de boules de coton croît de 3-6% et le rendement de 7-15% (Wang et al., 2001). Une diminution des pertes dues à la sécheresse (Wang et al., 2001) ainsi que la formation de

nouvelles racines lors de l'ajout de Si à la solution a également été remarquée (Aziz., 2002). Aussi, les cultivars de coton ont une croissance de racines augmentées quand le silicium a été ajouté en l'absence d'aluminium ou à des concentrations basses (Provance-Bowley, 2013). Bien entendu les résultats sont fonction du type de sol.

Dès lors, le silicium peut servir dans des rôles métaboliques importants durant la croissance des fibres de coton et son développement. La concentration en Si dans les fibres augmente durant la phase d'élongation et de développement jusqu'à un pic où la formation de la paroi secondaire est initiée ; cela suggère une fonction liée à l'âge pour le silicium lors du développement des fibres. Le plus haut ratio de masse de silicium par masse de fibres a lieu lors de l'initiation de la croissance de la paroi secondaire (Provance-Bowley, 2013).

A.1.4 Possibilité d'amendement Silicium par application de biochar

Introduction

Aujourd'hui, il existe des connexions entre le biochar et le silicium du sol. Dans le cadre de l'utilisation d'amendement au Si, le biochar pourrait être une solution plus adéquate pour les cultures en combinant les bénéfices des deux. Des recherches, ces dernières années, ont vu le jour à propos de production à partir de biomasse riche en silicium, notamment le *miscanthus x giganteus*, et les relations physicochimiques qui prennent part entre les deux composés vont dans le sens de nos hypothèses (Houben et al., 2014). Dans cette partie, nous allons mettre en évidence la structure des particules de biochar riches en silicium, les relations qui s'établissent entre les deux, l'impact qu'a la température de pyrolyse et finalement la découverte d'occlusions dans les phytolithes riches en carbone.

Aussi, les plantes régulent fortement le dioxyde de carbone atmosphérique, notamment en participant à différents processus des cycles couplés silicium-carbone. Parmi ceux-ci, la végétation va augmenter l'altération des silicates dans le sol, il y a formation et solubilisation des phytolithes, formation d'aluminosilicates secondaires avec une protection physicochimique du carbone organique et finalement l'occlusion de carbone organique dans les phytolithes.

Structure

À propos de la structure des particules de biochar riches en Si, il faut noter qu'une trop grande quantité de minéraux peut endommager les structures aromatiques en réduisant le nombre de liaisons entre les couches. Les structures dominées par des liaisons carbonées sont alors moins stables. La température de pyrolyse va fortement influencer la morphologie des composés silicatés et les interactions entre C et Si, alors que ce dernier joue un rôle important dans l'arrangement de la composition structurale hétérogène du pool de carbone. Il y aura donc des effets sur l'évolution du carbone dans les sols amendés, mais la participation des composés silicatés sur la stabilité du biochar reste encore très floue (Guo et al., 2014).

Un nouveau modèle concernant la séquestration du carbone dans le biochar a été proposé en tenant compte des interactions Si-C ainsi que l'intensité de l'oxydation et de leurs effets sur la taille des particules et la stabilité du biochar (Guo et al., 2014).

Impact des températures de pyrolyse

Il est essentiel d'identifier les mécanismes de récalcitrance du biochar et les effets entre C et Si pour comprendre sa stabilité. Ses composés aromatiques et récalcitrants sont plus présents avec une température de pyrolyse croissante tandis que les formes de carbone dans le biochar sont aussi associées avec celles du silicium (Guo et al., 2014). Cette température va jouer un rôle crucial et va induire des changements variés selon sa valeur élevée ou basse. Plus la température de pyrolyse augmente, plus il y aura une accumulation de composés avec silicium et les phytolithes de forme amorphes passeront en forme cristalline à haute température. D'autre part, la forme de la matière organique va changer d'aliphatique⁹ à aromatique. Une relation de protection entre les deux a été proposée pour expliquer cette stabilité. Le Si disponible et actif dans le biochar tend cependant à augmenter avec la température jusqu'à un certain seuil (Fig. A.13). En effet, le Si dans les tissus de la biomasse va dans un premier temps être retenu par leur déhydratation dans le four, ce qui mène à une structure plus compacte et une dissolution plus difficile du Si dans le biochar. Ensuite ces couches carbonées vont se casser avec la température et libérer davantage de Si qu'auparavant, car sa dissolution est plus rapide et meilleure. Cependant, arrivé à une certaine température, la cristallisation opère et la dissolution en Si-disponible diminue. Par conséquent, les variations de forme du carbone et du silicium dans le biochar résultent d'une protection mutuelle entre les deux qui diffèrent selon la température de pyrolyse. Comme le pourcentage de silicium amorphe diminue avec la température, la dissolution du Si et sa quantité vont être influencées par des variations de pH, de forme, de structures et d'autres propriétés (Xiao et al., 2014).

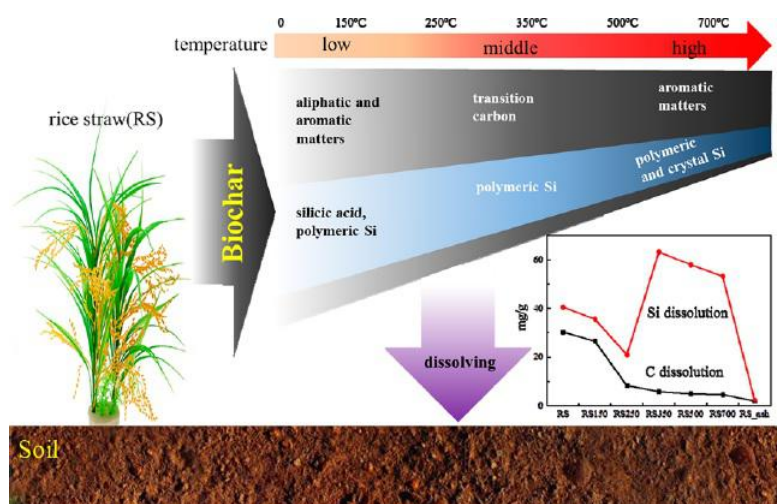


FIGURE A.13 – Graphe de la structure du C et Si dans le biochar et courbe de dissolution des composés, les deux en fonction de la température de pyrolyse. (Source : Xiao et al., 2014).

Ces modifications structurelles sont schématisées à la figure A.14.

Dans une gamme de température faible, 200-300°C, il n'y a pas de différence significative entre les structures de carbone à la surface externe et à l'intérieur des particules de biochar (Guo et al., 2014). Le carbone perdu est peu affecté par les composés silicatés, mais le degré d'oxydation joue son rôle

9. un composé aliphatique possède de longues chaînes carbonées sans cycle

(Guo et al., 2014). C'est aussi à ces températures que l'acide silicique est polymérisé et qu'il y a une meilleure intégration du Si et du C qui sont tous les deux amorphes et peu décomposables à ce stade. Dès que la température croît, il y a une fissuration des composés carbonés et le silicium situé dans les tissus devient alors exposé (Xiao et al., 2014).

Vers 500°C, on voit apparaître dans le biochar (issu de plantes riches en Si comme le riz) une protection par occlusion du carbone par le silicium contre l'oxydation. Cette association structurale se fait lorsque le Si est présent et cela a un impact significatif sur la perte du carbone (Guo et al., 2014). La cinétique de dissolution du Si suggère que du biochar riche en Si pourrait servir comme source de libération lente de silicium disponible dans des sols où il y en a peu (Xiao et al., 2014).

De 500 à 700°C, le biochar se condense à cause d'une aromatisation du carbone et une cristallisation du silicium. Le carbone stable qui est très condensé et aromatique est alors d'environ 25% et est très lentement décomposable. À cette température le Si est isolé et impacte peu les pertes de carbone, il est sous forme cristalline et n'a plus de fonction de protection (Guo et al., 2014).

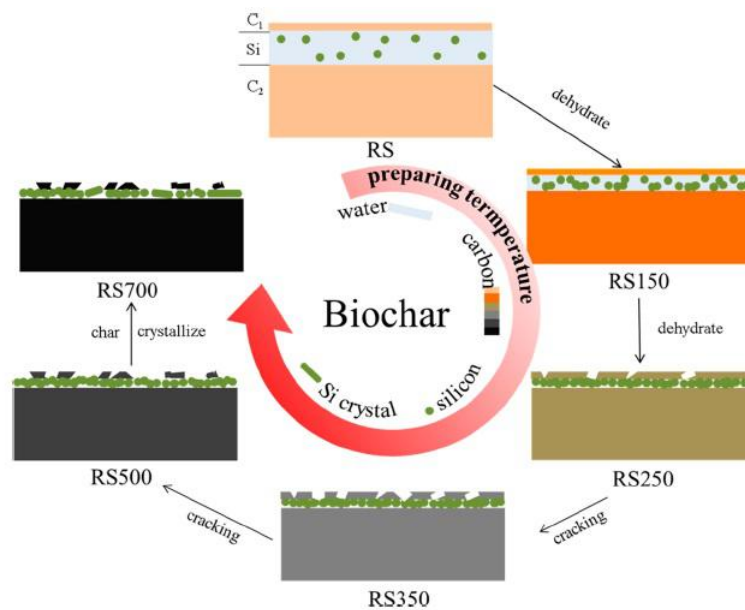


FIGURE A.14 – Schéma des interactions structurales carbone-silice dans du biochar de tiges de riz et modifications apportées par les températures de pyrolyse croissantes. Trois étapes prennent alors part dans l'ordre : 1) déshydratation (dehydrate) ; 2) apparition de fissure (cracking) et 3) cristallisation (crystallize). (Source : Xiao et al., 2014).

Relation entre biochar et Silicium

Malgré la transformation des structures amorphes de silice au-delà de 500°C, certaines biomasses pyrolysées à cette température devraient encore contenir des phytolithes non modifiés. Vu que la solubilité des phytolithes est supérieure à celle du silicium sous forme de silicates cristallins, tels que le quartz, feldspath, ..., c'est une source potentielle directe plus importante de Si disponible en solution. En plus de cela, le biochar riche en Si augmente aussi la capacité du sol à régénérer le Si disponible pour le biotope, ce qui en fait un amendement effectif et moins coûteux en silicium. Celui

issu des tiges de *miscanthus*, plus riche en Si, a démontré avoir les bénéfices attendus sur des sols tropicaux très altérés : meilleure fertilité du sol grâce à des changements de pH et CEC, long temps de résidence et un taux élevé de libération de silicium disponible qui s'expliquerait par la présence de phytolithes dans le biochar. Pour rappel, les sols tropicaux sont très altérés et possèdent un faible contenu en minéraux primaires. De plus, leur taux de minéralisation de la matière organique est très élevé (Houben et al., 2014).

Aujourd'hui la dissolution et la morphologie du biochar qui contient du silicium sont encore peu connues, mais il a été prouvé que le Si est utile dans la formation des cristaux inorganiques du biochar en plus d'être un coprécipiteur métallique. On a découvert que l'apaisement de la toxicité de l'aluminium pour les plantes grâce à l'addition de biochar de ce type est dû à la coprécipitation de l'Al avec des particules silicatées (Xiao et al., 2014).

Aussi, la dissolution du Si à long terme qui est contenu dans ce biochar, est menée par la co-interaction entre sa localisation, son contenu et sa forme. La libération du Si disponible dans le sol est contrôlée par sa spéciation¹⁰, et par son interaction avec C. La protection mutuelle entre ceux-ci résulte de leurs structures et de leurs composés, et elle influence la dissolution du silicium ce qui mène à son efficacité en tant que fertilisant. L'impact du silicium dans le biochar va dès lors influencer la stabilité du carbone ce qui modifie alors sa disponibilité, sa sorption et sa dissolution (Xiao et al., 2014).

Occlusions des phytolithes

Comme énoncé précédemment, il a été découvert très récemment que les phytolithes contiennent des occlusions de composés organiques qui ne sont pas d'origine et qui sont appelés *phytC*. En effet, les structures de silice contiennent des cavités internes micrométriques qui sont parfois isolées de l'extérieur. Leur ouverture peut résulter de la dissolution progressive dans l'environnement naturel ou peut être d'origine dans le composé. Le phytC qui occupe les cavités dès le départ est donc susceptible d'être rapidement oxydé (Alexandre et al., 2015).

Il existe un autre pool de phytC qui est quant à lui occlus depuis les premiers stades de silification : il est distribué en continu à l'intérieur du phytolithe et est protégé par la structure de silice. Dès lors, la partie interne de ces types de phytolithes possède une silice moins dense que celle externe ; cela s'explique par l'occlusion des phytC ou par le manque de silicium dissout disponible pour la précipitation lors de la formation du phytolithe lui-même. Ce second pool est aussi rapidement oxydé lorsque les phytolithes commencent à se dissoudre après leur retour au sol, dans la litière ou dans les sédiments où se fait la décomposition. Ce serait alors une séquestration limitée du carbone organique sur le long terme (Alexandre et al., 2015). Il a été découvert que le contenu en phytC dépend de l'absorption en silicium de la plante et qu'il y a une séquestration réelle du carbone organique dans les phytolithes, c'est pourquoi les cultures riches en Si comme le riz pourraient conserver de grandes quantités de carbone à long terme (Luyssaerts et al., 2008).

10. ensemble des différentes liaisons possibles d'un élément

Le ratio N/C de ces phytC prouve la présence d'acides aminés. En effet, ceux-ci ont été absorbés par la plante et transportés dans les racines, les tiges et les feuilles. Nous pouvons assurer que le carbone et l'azote qui sont dérivés de ces acides aminés du sol ont été piégés dans les phytolithes. Les composés organiques qui sont enfermés contiennent du C, du N mais aussi du P. Il y a également de l'Al qui co-précipite avec la silice et diminue sa dissolution. Ces phytC sont protégés de l'oxydation naturelle grâce à ces structures de silice (Alexandre et al., 2015).

Suite à ces découvertes, il est nécessaire d'étudier la contribution des contenus différents en carbone dans les phytolithes pour mieux établir le rôle des phytC dans sa séquestration : il y a donc les phytC dans la structure de silice, dans les cavités centrales et enfin le carbone externe qui reste sur la surface des pores des phytolithes (Alexandre et al., 2015). Or, la stabilité du biochar est influencée par l'aromaticité du carbone, mais cette protection de silice joue un rôle important et elle varie selon la température de pyrolyse : il est raisonnable de dire que le carbone dans les phytC est plus stable que celui fixé par adsorption à la surface des phytolithes (Guo et al., 2014). Finalement le rôle des phytC dans la diminution des changements climatiques et du CO₂ dans l'atmosphère est énoncé, mais les flux de phytC de la végétation vers le sol et son temps de résidence sont encore très méconnus (Alexandre et al., 2015).

A.1.5 Conclusion de l'état de l'art

L'amendement des sols est aujourd'hui une nécessité dans plusieurs régions du monde comme en Afrique Subsaharienne ou en Asie du Sud. En effet les phénomènes d'érosion et les changements climatiques amènent à un manque de sécurité alimentaire et à la malnutrition (FAO, 2006). La révolution verte a été efficace, mais il est aujourd'hui question d'une gestion durable et accessible. En effet, le biochar fournit une opportunité pour améliorer la fertilité et l'efficacité des nutriments pour la plante en utilisant du matériel local, disponible et renouvelable d'une façon durable. De plus, la perte de sol et sa dégradation sont des phénomènes mondiaux croissants, tandis que l'utilisation d'engrais ou pesticide a un impact sur l'environnement du sol ou sur les ressources en eau. Amender les terres avec du biochar permet de diminuer ces impacts environnementaux, et facilite le développement de l'occupation durable du sol (Lehmann et al., 2009).

Les bénéfices de l'application de biochar sont multiples et variés. Tout d'abord l'amendement par biochar va offrir un effet de chaulage dans les sols acides (augmentation du pH), un apport de nutriments dans le sol, une meilleure rétention en eau, une bonne CEC, une augmentation de l'activité biologique, une diminution de la compaction et enfin une immobilisation des contaminants (Olmo et al., 2014). Cela serait dû à une plus grande surface spécifique du sol, à une meilleure aération, à de meilleures capacités de sorption ou encore à une activité accrue des microorganismes, etc. (Verheijen et al., 2010). Cet amendement va influencer les propriétés physicochimiques du sol comme la texture, la structure, la porosité ou d'autres critères, et tous ces éléments sont intimement liés dans les effets que le biochar va offrir. En parallèle, un autre bénéfice de la production de biochar est de réduire l'enfouissement des déchets en diminuant sa masse et son volume initial. De plus, cela permet d'éviter l'émission de gaz à effet de serre et le chauffage permet de supprimer des pathogènes potentiels qui étaient dans la biomasse (Sparkes et al., 2011). En conclusion, les menaces qui visent

le sol aujourd'hui pourraient être atténuées par le biochar qui va avoir des effets sur les propriétés du sol et les processus pédologiques qui y sont liés (Verheijen et al., 2010).

Dès lors, le biochar est souvent considéré comme rentable en terme de connexion entre les rendements cultureux, la séquestration du carbone et les améliorations dans l'environnement. Ce serait alors potentiellement une alternative agroécologique et bon marché à valoriser dans des milieux tels que des sols très altérés. À ce jour, les recherches prouvent que les bénéfices de ce composé organique dans le sol sont réels, mais il est nécessaire d'entreprendre des analyses plus précises pour comprendre de possibles effets néfastes.

D'autre part, le silicium est utile pour le développement des plantes et est essentiel dans certaines cultures. Il interagit dans le cycle du carbone et permet une régulation du CO_2 dans l'atmosphère. Ses bénéfices pour la plante sont variés et différent selon son espèce. On trouve notamment une meilleure robustesse de la tige ainsi que des feuilles, ce qui engendre une meilleure photosynthèse, une protection améliorée lors de phases de stress biotique ou abiotique, etc.

À l'heure actuelle, l'amendement des sols par minéraux silicatés existe, mais il est très cher et seule une faible proportion du silicium est soluble, avec parfois des traces de métaux lourds. Des composés tels que la wollastonite (CaSiO_3) ont une réserve limitée en minéraux pour la plante. De plus, ils ne combinent pas les effets bénéfiques d'un possible amendement en silicium comme le stockage de carbone organique ou l'augmentation de la fertilité des sols, c'est pourquoi il est nécessaire de trouver des solutions plus durables (Houben et al., 2014). L'amendement au silicium est d'actualité puisque c'est une alternative aux pesticides. En outre, il n'y a pas de résidus de produits toxiques dans la nourriture ni dans l'environnement, c'est relativement bon marché et il pourrait facilement être rajouté dans les techniques de gestion contre les ravageurs (Agripower, 2011).

Enfin, des investigations ont révélé que la stabilité du carbone n'est pas seulement déterminée par les structures aromatiques du biochar, mais aussi par la protection du Si et la taille des particules. La structure de carbone encapsulée dans le Si peut protéger le biochar contre l'oxydation chimique et physique et mène potentiellement à un plus long temps de vie dans le sol. Cela offre alors un meilleur potentiel de séquestration de carbone dans le sol (Guo et al., 2014). Il est nécessaire de mieux comprendre le biochar, car il participe au couple Si-C et il modifie donc leurs cycles dans l'environnement. En effet ces deux composés sont liés dans plusieurs processus biogéochimiques qui peuvent réguler la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère comme : l'altération des minéraux silicatés, la néoformation de minéraux secondaires, la nutrition du biotope ou des diatomées ou finalement la production de ce carbone organique inclus dans les phytolithes.

En conclusion, l'amendement par biochar riche en silicium en surface du sol pourrait par conséquent impacter ce couple d'éléments et favoriser la diminution du carbone dans l'atmosphère en modifiant le système sol-plante (Fig. A.15). En effet augmenter la production en champs grâce à cet amendement avec silicium va augmenter l'efficacité de la photosynthèse des plantes et donc la consommation de CO_2 , il y aura une plus grande altération des minéraux silicatés, une formation accrue de minéraux secondaires et une plus haute production du carbone organique compris dans les phytolithes.

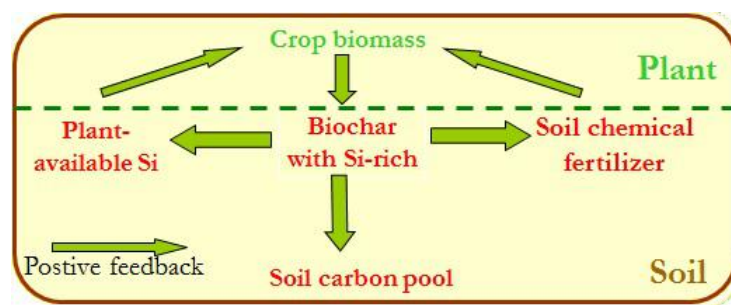


FIGURE A.15 – Schéma du système sol-plante avec application de biochar riche en Si.

A.2 Expérience

A.2.1 Mes hypothèses

Dans ce chapitre, nous souhaitons mettre en évidence les relations qui s'établissent entre le silicium (Si), le biochar et le système sol-plante. Des études récentes préconisent l'amendement en silicium par biochar issu de plantes riches tel le miscanthus (Houben et al., 2014). Aujourd'hui, il existe des solutions pour apporter directement du silicium au sol, mais celles-ci sont coûteuses. Nous souhaitons aller plus loin dans les recherches de biochar riche en silicium pour peut-être développer une technique d'amendement reconnue apportant des bénéfices durables. L'utilisation du biochar pourrait, déjà à elle seule, régler les problèmes d'appauvrissement des sols et assurer de meilleures cultures dans les pays touchés par les phénomènes de dégradation des sols, le tout grâce à un cycle dans lequel interviennent aussi les changements climatiques et la gestion de déchets.

Notre projet fait partie intégrante de Koobo, qui sera donc une entreprise sociale au Burkina Faso. Ce pays est un des plus grands exportateurs de coton d'Afrique, dont les fibres sont utilisées pour en faire des produits textiles. La culture du coton nécessite énormément de fertilisants et de pesticides pour fournir des productions suffisantes, et ces processus intensifs appauvrissent les sols qui étaient déjà peu enclins à l'agriculture. Les vieux sols du Burkina sont acides et extrêmement altérés, c'est pourquoi l'application de biochar dans ces régions serait une solution idéale pour une gestion durable aux bénéfices variés. Elle est d'autant plus adéquate que les tiges de coton après récolte sont laissées sur le terrain, et sont jusqu'à présent non valorisées. La pyrolyse de ces tiges pour amender les sols servira dès lors également à la gestion des déchets agricoles.

De plus, le silicium pourrait aussi avoir un rôle intéressant dans le développement de la plante de coton en améliorant sa résistance aux stress biotiques et abiotiques ainsi que la qualité de ses fibres. Or, aujourd'hui, la demande en fertilisants riches en Si augmente à cause de la perte de silicium lors de l'exportation continue de la biomasse hors du milieu. Nous verrons ainsi si le miscanthus peut être considéré comme une alternative d'amendement en silicium pour divers agro-écosystèmes dans des sols très altérés.

A.2.2 Objectifs

Pour ce faire, nous désirons étudier les effets de l'application d'un biochar riche en Si sur différents sols et effectuer des comparaisons pour plusieurs critères. Nous souhaitons utiliser un sol riche tempéré de type cambisol ainsi que des sols pauvres tropicaux beaucoup plus altérés appelés paléosols, dont le contenu en fer varie. Nous appliquerons également plusieurs types de biochar à différentes concentrations : un amendement riche en Si, concentré en phytolithes, issu de miscanthus pyrolysé à deux températures ainsi que du biochar de résineux pauvre en Si. Nous placerons alors des plantes de coton sur ces différents substrats pour voir les conséquences sur le système sol-plante.

Dans un premier temps, nous observerons les différences de biomasse de coton afin de comprendre si l'amendement biochar a réellement un impact sur la croissance.

Ensuite, nous analyserons le taux de relargage en Si du biochar afin de voir si sa nature influence la concentration de silicium bio-disponible dans le sol. Nous mesurerons également la concentration de ce minéral absorbé par la plante qui s'est développée sur les sols amendés et nous serons capables de déterminer sa minéralomasse. Nous tirerons finalement nos conclusions quant à la différence entre le biochar riche ou pauvre en Si.

En parallèle, des analyses seront faites dans le but de comparer un sol pauvre africain au sol altéré belge utilisé en laboratoire. Cela va nous permettre d'émettre des hypothèses concernant leurs similitudes en terme de fertilité et de capacité de développement du coton.

A.2.3 Mise en situation

Les sols

Paléosols de Transinne Nos deux types de sols pauvres ont été prélevés dans la carrière de kaolin de Transinne qui est située dans les Ardennes, au sud de la Belgique, massif qui a vu le jour lors de l'orogénèse hercynienne. Cet endroit a la particularité d'avoir 65m de saprolite alors que le sol est de type limoneux à charge schisto-gréseuse partout ailleurs dans la région, avec un contenu en cailloux moyen ou faible (Voir annexe B.1) (CNSW, 2009). Actuellement, un sol est en train de se redévelopper au-dessus de la saprolite qui est un sol tropical extrêmement altéré. Aussi appelé paléosol, il est constitué en grande majorité de kaolinite primaire, ce qui signifie qu'il est issu de l'altération et peut être néoformé. L'unité géographique de Transinne est dans l'aire de la Haute-Lesse et date du dévonien inférieur (420 à 390 millions d'années) (Yans et al., 2003). Ce plateau altéré a donc formé la carrière de kaolin, utilisé pour la production de ciment ou pour des tuiles colorées (Fig.A.16).

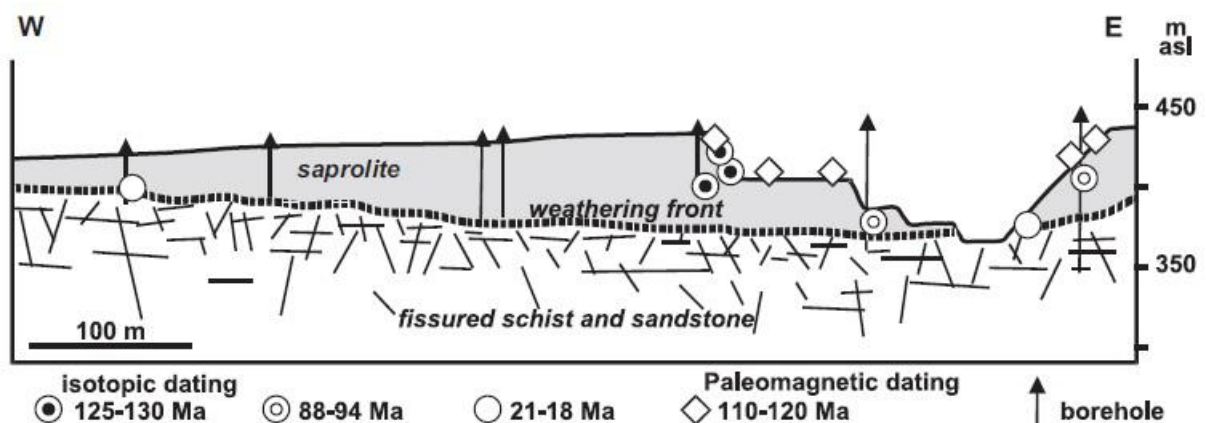


FIGURE A.16 – (Coupe schématique de la saprolite de Transinne (Haute-Lesse, Ardenne, Belgique). (Source : Yans et al., 2003).

Cette saprolisation s'est réalisée en plusieurs phases et a mené à la formation de kaolinite, d'oxyde de fer (goethite, hématite) et d'oxyde de manganèse (Thiry et al., 2006). Le Kaolin possède 4 phases minérales restantes : il y a principalement du quartz et de la kaolinite (bien cristallisée, mais relativement désordonnée), mais aussi de l'illite résiduelle qui a mieux résisté à l'altération et une petite quantité d'oxy-hydroxyde de fer (goethite) ou de manganèse (petites taches

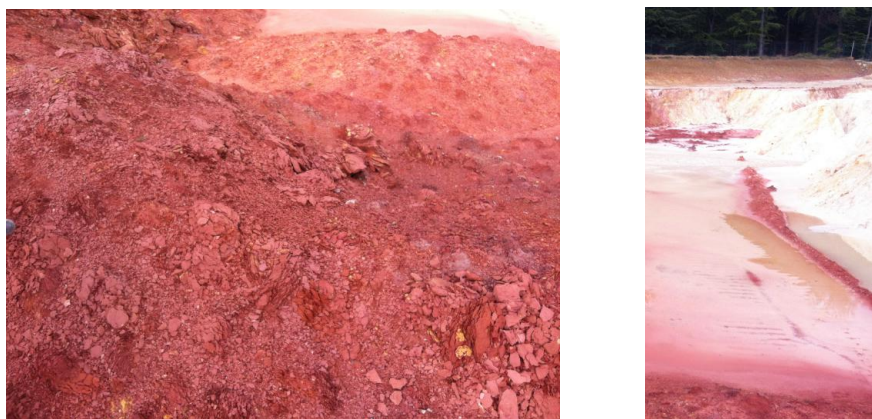


FIGURE A.17 – Saprolite de Transinne, couleur rouge (gauche) ou blanche (droite).

noires dans le sol) (Yans(b), 2014). Il y a aussi dans cette carrière du kaolin très pur sans illite, dont la matrice blanche a des propriétés de colmatage grâce à l'aluminium, au silicium, à l'oxygène et l'hydrogène. Tous les carbonates, chlorites ou pyrites ont été complètement dissouts (Yans(b), 2014).

Ce sont les oxydes de fer, cristallisés depuis la pyrite ou bien dont le fer a été remobilisé des chlorites, qui vont donner la couleur au kaolin et qui détermineront son utilité : plus ils sont présents, plus la couleur rouge domine (Fig. A.17). Les teintes jaunes proviennent de la goethite une grande partie du temps tandis que le rouge représente l'hématite ou également de la goethite. Cependant la concentration en fer ne dépasse jamais les 5%, et de même pour le potassium qui est compris dans l'illite résiduelle. Tous les autres cations (Na, Ca, Mg) sont seulement en trace. À savoir aussi que du chrome est intégré dans l'illite néoformée ou dans la kaolinite (Yans(b), 2014).

Les caractéristiques morphologiques et physico-chimiques disponibles suggèrent que ce sol rouge peut être classé comme Nitisol dans le système WRB. Avec les Ferralsols et les Lixisols, les Nitisols constituent un ensemble de matériaux pédologiques caractérisés par un degré d'altération très avancé et une accumulation d'oxydes résiduels de minéraux à faible CEC ("low activity clays"). Cet ensemble pourrait correspondre à l'ensemble des sols ferrallitiques (jaunes, rouges) et des sols ferrugineux dans le système CPCS.

Le sol blanc récupéré à la carrière pour l'expérience est difficilement classifiable, c'est pourquoi nous l'appellerons paléosol blanc. Nous analyserons son contenu et son potentiel de support pour le développement de la plante pour comparer au nitisol riche en fer.

Cambisol de Louvain-la-Neuve Outre ces sols extrêmement altérés, nous avons souhaité utiliser un cambisol pour effectuer des comparaisons. Ces sols sont riches en nutriments et ont beaucoup de carbone. Nous pouvons en trouver dans divers endroits sur le territoire belge, notamment dans les bois de Lauzelle dans la commune de Ottignies/Louvain-la-Neuve située dans la province du brabant wallon au centre du pays. Le sol de cette région est limono-sableux et le bois de Lauzelle repose sur le socle du Brabant ((Annexe B.2).

Ces cambisols, très bruns, sont des sols jeunes peu altérés. Au contraire de la saprolite de Transinne,

il y a un développement de profil qui se crée, c'est pourquoi nous avons éliminé la couche superficielle (la litière) pour ne pas travailler sur un matériel trop riche en matière organique et avec un pH non représentatif du sol.

Lixisol du Burkina Faso Nous allons comparer le nitisol bien rouge de Transinne au lixisol du Burkina Faso. Il fait partie de la catégorie oxisol qui est utilisée dans la classification américaine plus générale USDA. Grâce à la couleur particulière de l'échantillon, à sa texture et aux informations transmises lors de l'échantillonnage, nous avons mis en évidence que c'est un sol ferrugineux tropical (CPCS), type de sol prédominant en Afrique et au Burkina Faso. Nommé Lixisol dans la WRB (World Reference Base), c'est un sol extrêmement altéré, acide, avec une faible CEC et composé en grande majorité de kaolinite et de quartz. Ce sol peu fertile, pauvre en cations, possède parfois un contenu élevé en oxydes de fer ou d'aluminium (Kettler et al., 2009).

Le coton

Le coton que nous utilisons dans nos expériences en serre est *Gossypium Hirsutum L.* de la famille des Malvacées. Il est originaire du continent américain, se distribue dans les régions chaudes tempérées ou tropicales, et est l'espèce de coton la plus cultivée dans le monde avec plus de 90 % de la production (Ikitoo, 2011).

Le coton est une plante fibreuse ; ses fibres sont utilisées dans des domaines variés : c'est une fibre textile, mais aussi papier, cosmétique... En 2008, les 3 premiers producteurs étaient la Chine, les États-Unis et l'Inde, tandis que le Burkina Faso est le premier producteur en Afrique (Ikitoo, 2011).

Les fibres de coton sont des extensions unicellulaires de cellules de l'épiderme de graine. Il existe deux types de fibres : les courtes et les longues, qui sont appréciées en fonction de leur finesse, maturité, force et élasticité. Le coton ne se développera que si les conditions sont assez bonnes ; un sol assez riche et un apport en eau suffisant (Ikitoo, 2011).

A.2.4 Matériel

Pour réaliser cette expérience, nous avons besoin de :

- Un phytotron (UCL) qui permet de fixer une température et une humidité représentative d'un climat de type tropical ;
- Deux types de biochars produits par des réacteurs de pyrolyse dont les contenus en Silicium sont très différents. Ils sont issus de tiges de miscanthus (*Miscanthus x giganteus*, Mi) et de résineux (SW¹¹) dont la concentration en Si est 30x moins élevée. Dans notre cas, ceux-ci ont été commandés au UK Biochar Research Center ;
- Des graines de coton issues du Burkina Faso où l'espèce dominante dans les cultures est *Gossypium Hirsutum*.
- Du matériel de laboratoire basique ainsi que diverses machines plus complexes, le tout mis à notre disposition par l'Université Catholique de Louvain (UCL).

11. Soft Wood

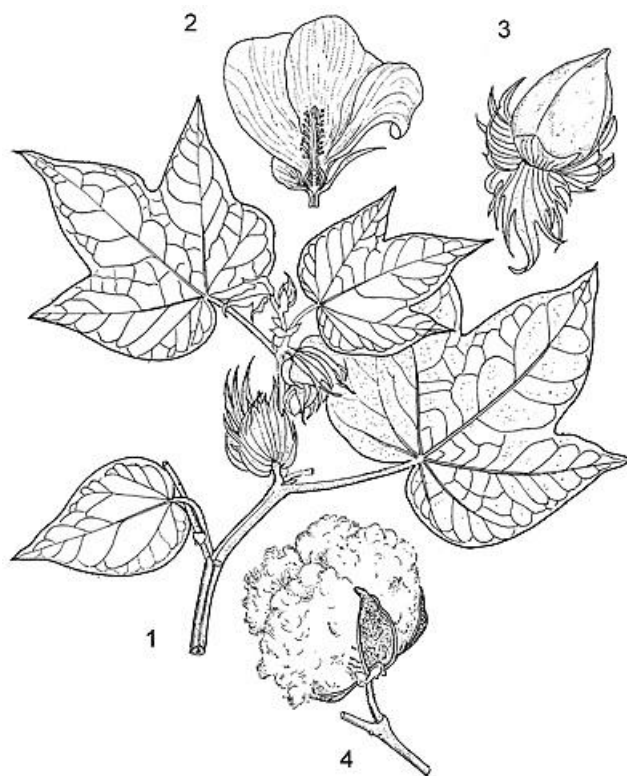


FIGURE A.18 – Schémas d'un plant de coton. 1) Branche fleurie, 2) Fleur coupe longitudinale, 3) Fruit, 4) Fruit ouvert. (Source : Ikitoo, 2011).

A.2.5 Méthode

La température et l'humidité sont basées sur les moyennes du sud de Burkina Faso, là où nous assurerons le projet socio-économique. Nous posons une température égale à 28 degrés C et une humidité relative de 80 % (Wofrance.fr, 2015).

Trois types de sols sont testés pour la croissance du coton dans le phytotron : un cambisol (riche en nutriment et en matière organique), qui provient du bois de Lauzelle de Louvain-la-Neuve (Belgique) et deux sortes de paléosol issus de la carrière de Kaolin à Transinnes dans la province du Luxembourg (Belgique). Ces deux derniers sont des sols extrêmement altérés dus à un ancien climat tropical : un nitisol de couleur rouge à cause de sa richesse en fer et un second de couleur blanche. Nous avons également testé le lixisol prélevé sur une parcelle agricole du Burkina Faso, mais il était impossible de réaliser l'expérience sur ce substrat en pot. Ce dernier type servira à faire des parallèles entre l'expérience et le projet socio-économique de Koobo.

À ces trois types de sols, nous avons ajouté deux types du biochar. Le premier est du biochar de miscanthus (Mi) (*Miscanthus x giganteus*) très riche en silicium, qui a été pyrolysé à deux températures différentes : 550°C et 700°C. Le deuxième est du biochar (à 550°C) de résineux (conifères)(SW) qui a une concentration 30 fois moindre en silicium que dans le Mi. Nous avons laissé des pots sans biochar qui seront les blancs, tandis que les autres ont reçu des concentrations de 1% et 3% (poids/poids). Cependant, nous n'avons fait que des concentrations de 3% pour le Mi-700°C. Pour presque tous les couples biochar-sol, 3 répliquats ont été réalisés. Le total des plants expérimentaux s'élève à 44 pots, et



FIGURE A.19 – Graines du Burkina Faso et plantules sur plaque flottante.

ils ont été placés de façon aléatoire afin de minimiser les effets de placement dans le phytotron (Annexe B.3). Ces différents biochars appliqués ont été broyés à la bouteille et mélangés dans l'entière du pot de 10L utilisé dans le phytotron.

Germination et coton

Vu le besoin en eau très précis des graines, nous avons construit plusieurs bacs munis d'une plaque flottante percée de trous d'1cm de diamètre. Nous avons placé de l'ouate à l'intérieur qui s'est alors imbibée d'eau et nous y avons mis la graine afin d'assurer un contact permanent avec l'eau (Fig. A.19). Le taux de mortalité étant très élevé, il faut réitérer l'opération plusieurs fois dans le but d'obtenir un nombre suffisant de plantules. Dès que nous en avons des suffisamment vigoureuses, nous les plantons en pot tout en conservant les autres dans le cas d'une mortalité élevée chez les jeunes pousses (Fig. A.20).

Les durées de ces étapes ont été choisies en fonction de la viabilité des plantules dans les premiers stades de germination, tandis que nous avons choisi de clôturer l'expérience lors de la sortie majeure du coton des capsules. Lors de la phase en pots, nous avons appliqué des quantités d'eau communes (33cl) à tous les pots, et ce, tous les 2-3 jours. L'eau de pluie qui est utilisée a été préalablement analysée pour connaître le contenu en silicium afin de s'assurer que nous n'importons rien dans le sol. Les dates et durées exactes sont reprises dans le tableau A.1.

Tableau A.1 – Calendrier des plants de coton dans le phytotron.

Germination massive sur plaque flottante	26/09/14	t=0j
Mise en pots	09/10/14	t=15j
Sortie du premier coton sur sol riche	19/02/15	t=132j
Fin de l'expérience et biomasse placée à l'étuve	02/03/15	t=143j

Une fois le coton arrivé à terme dans le phytotron, nous avons récolté la biomasse et avons mesuré la taille des tiges. Après un passage à l'étuve (60 °C) durant 4 jours, nous avons pesé le poids sec de ces différentes parties avant d'analyser la composition totale. Pour cette étape, nous avons broyé tout le matériel et chauffé dans un four par palier de 50°C toutes les demi-heures jusque 400°C. Cette

température est maintenue pendant 1 heure puis montée à 500°C pendant minimum 16H. Cette étape sert à obtenir les cendres sur lesquelles nous avons fait des fusions au métaborate à 1000°C (Voir A.2.5 : Analyse totale) pour connaître la concentration en silicium dans les plantes et pouvoir vérifier nos hypothèses d'absorption de Si disponible grâce au biochar.



FIGURE A.20 – Phytotron lors de la phase de croissance du coton. UCL, 2015.

Critiques Travailler avec du matériel vivant est complexe et difficile, car de nombreux facteurs peuvent influencer le comportement des plantes. Plusieurs critères ont pu influencer le déroulement de l'expérience et donc les résultats.

D'abord le facteur humain. En effet, donner à boire aux plantes nécessiterait une présence tous les 2-3 jours rigoureuse et exacte, ce qui n'est pas facilement réalisable.

Ensuite, la mécanique du phytotron a été modifiée durant le cycle de la plante. En effet, quelques ampoules ont cassé et les disperseurs d'eau pour l'humidité ont été parfois déréglés, et ce jusqu'à ce qu'on remarque les changements.

Un autre critère est le développement d'organismes. Par l'apport du cambisol qui provient d'un bois, nous avons apporté des drosophiles, mais leur réel impact ne semble pas visible. Il y a également eu développement de mousses ou de bactéries à la surface des sols, ou encore un pourrissement de matière organique dans les coupelles du cambisol qui étaient en contact avec les racines.

Aussi, il semblerait que les pots se soient comportés différemment selon leur position dans la pièce. En effet, nous remarquons à vue d'oeil que l'eau stagnante dans la coupelle est différente d'un endroit à l'autre, peu importe la nature du sol, ce qui mène à des conditions anaérobies pour certaines plantes et pas d'autres. Ces observations ont été d'autant plus visibles lors du rangement du phytotron après expérience.

À propos de l'application du biochar, la texture diffère dans les 3 types qui ont été appliqués dans

les sols. Or nous avons effectué les mêmes écrasements pour chacun, ce qui a amené des différences dans le mélange à l'intérieur des pots. En effet, le biochar de SW est moins friable et les particules sont plus grandes et plus dures que pour le miscanthus. Cette erreur a pu modifier les propriétés que le biochar a apportées au sol et l'accessibilité aux racines.

Une autre erreur a été de laisser tomber les feuilles mortes dans la litière. En effet, les débris sont tombés au sol directement et ont alors été contaminés par les argiles ou par les sables pour l'analyse du contenu en silicium. Nous avons d'ailleurs dû éliminer des échantillons probablement à cause de ce type de contamination. Il faut alors nettoyer les feuilles pour éliminer ces contaminants, mais certaines ont dû être mises de côté vu leur état de dégradation avancé. Si l'expérience était à refaire, je placerais des filets pour récupérer les feuilles sans contact avec le pot, car ce sont elles qui contiennent la plus grande concentration en phytolithes.

Finalement, l'apparition de racines sous les pots pourrait indiquer qu'elles croissent rapidement et profondément. Cela supposerait qu'une expérience en champs serait plus adéquate et adaptée pour obtenir des résultats probants et moins influencés par des facteurs anthropiques.

Sols et biochars

Il est essentiel de connaître un maximum de propriétés des sols utilisés en serre pour comprendre les effets du biochar-Si sur le système sol - plante. C'est pourquoi nous avons réalisé plusieurs expériences afin de faire le lien entre le sol et le développement de la biomasse. Nous allons expliquer dans cette partie toutes les techniques utilisées et pourquoi nous avons fait celles-ci.

pH Le pH est un critère important et en relation avec toutes les réactions chimiques dans le milieu du sol. C'est un indicateur pour le type de végétation qui est capable de se développer et pour l'état de développement du sol. Il représente l'acidité du milieu et donc la concentration en protons en solution.

Cette mesure se fait avec un système d'électrode et les échantillons de sol sont mélangés avec une solution d'eau ou de KCl. Dans un premier temps, il est nécessaire de calibrer le pH-mètre avec des solutions à pH 4 et 7. Après avoir attendu une stabilisation du résultat, nous pouvons noter la valeur obtenue qui est sans unité pour le pH.

À propos de la solution avec de l'eau ou du KCl, le pH avec le chlorure de potassium est "potentiel". C'est-à-dire que les ions K^+ vont remplacer les protons qui étaient à la surface des particules du sol, ce qui les libère en solution. Tous les H^+ sont alors en solution, l'acidité augmente et le pH diminue. Ce pH-KCl renseigne sur le type de charge présent sur les particules via sa différence avec le pH- H_2O .

Afin d'analyser les modifications des pH avec biochar, l'acidité du nitisol et du cambisol lors de l'ajout de 3% de biochar a été mesurée en utilisant une solution de $CaCl_2$ 0.01M qui est prévue dans ce genre de manipulation (Kalra et Maynard, 1991).

Granulométrie Cette étape est longue et s'étend sur plusieurs semaines. Elle consiste à étudier la texture des sols, c'est-à-dire les proportions d'ensembles de particules de tailles différentes. Il en existe 3 : les argiles ($< 2\mu m$), les limons (entre 2 et $50\mu m$) et les sables (entre $2mm$ et $50\mu m$). La texture va influencer la rétention en eau du milieu, sa porosité ou encore la structure même du sol.

Après un écrasement des sols séchés à l'air libre et un tamisage à $2mm$ pour éliminer les graviers ($> 2mm$), les sables sont mouillés et isolés grâce à un tamis de $50\mu m$ et plusieurs passages aux ultrasons pour décoller les argiles. Ensuite nous mélangeons durant plusieurs heures les limons et argiles avec de la résine afin de disperser, via des ions Na^+ , les oxydes de fer qui se sont collés sur les argiles. Finalement, après avoir enlevé la résine par tamisage, nous allons profiter des lois de Stokes pour séparer les limons et les argiles. En effet, ce dernier énonce que la vitesse de chute des particules est fonction de son diamètre. Nous utilisons donc une haute colonne où nous mélangeons quotidiennement l'eau et le reste des particules pour siphonner 24h plus tard les 30 cm supérieurs et pouvoir isoler les argiles sur le côté (Fig. A.21). Du chlorure de strontium est de temps en temps appliqué pour faire flocculer les argiles vers le bas de la colonne. Une fois que la solution supérieure à la limite est limpide, nous pouvons considérer que nous avons bien tout séparé et nous pouvons passer à l'étuve ($105\text{ }^{\circ}C$) les trois constituants pour évaluer leur rapport avec la masse totale de l'échantillon qui est connue au départ. Les résultats finaux sont donc exprimés en % (Rouiller et al., 1972).



FIGURE A.21 – Granulométrie dans les laboratoires de l'UCL avec de gauche à droite : le lixisol, le paléosol blanc, le cambisol et le paléosol rouge.

Analyse totale Afin de déterminer le contenu en silicium total dans le sol ou dans le biochar, sans distinction entre les phases, nous avons effectué une fusion au métaborate sur 100 mg de nos sols broyés. Ces échantillons ont été fondus à $1000\text{ }^{\circ}C$ durant 5 min dans des creusets en graphite avec la présence de 0,4g de Li-tetraborate ($Li_2B_4O_7$) et 1,6 g de Li-métaborate ($LiBO_2$). La perle obtenue après fusion est dissoute avec 100 ml de HNO_3 2N. Le dosage des éléments s'est fait par ICP-AES (Inductively coupled plasma - atomic emission spectroscopy) sur une machine ICAP 6500 de *Thermo-Scientific* (Chao et Sanzalone, 1992).

CEC Comme expliqué précédemment, la capacité d'échange cationique reflète la quantité de charges négatives sur les particules de sol et donc sa possibilité de rétention en ions. Pour évaluer la

CEC d'un échantillon de sol, il suffit de saturer les sites par de l'ammonium, de les désorber et de les quantifier. Nous allons donc identifier les constituants du complexe d'échange (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} et Na^{+}), en déduire la CEC et finalement calculer la saturation en base par la formule :

$$\text{BS}(\%) = \sum (\text{Na}, \text{Mg}, \text{K}, \text{Na}) \times 100 / \text{CEC}$$

Pour ce faire, nous préparons dans un premier temps les colonnes de percolation où nous mettons de l'ouate et du sable pour empêcher la perte de sol par le bas tout en permettant au solvant de passer et l'échantillon de 5g de sol mélangé avec du sable (Fig. A.22). Nous appliquons 25 ml d'une solution d'acétate d'ammonium ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1N avec 6 répétitions, et ce, toutes les 15 minutes pour saturer les sites. Ensuite nous faisons la même chose avec 50 ml d'une solution d'éthanol pour faire percoler tous les ions d'ammonium non fixés. Finalement, nous désorbons ces ions pour les quantifier en appliquant une solution de chlorure de potassium (KCl) 10% à pH3 avec également 6 répétitions. Le dosage de l'ammonium se fera par distillation et l'unité est en *mq/100gr* (Schollenberger et Simon, 1945).



FIGURE A.22 – Colonnes de percolation utilisées pour déterminer la CEC.

DRX La diffractométrie de rayons X permet d'analyser la minéralogie d'un sol. C'est une analyse qualitative et non quantitative. Le but est de comparer le spectre de diffraction du sol brut avec des pics dont nous connaissons la composition du minéral qui y est lié. Finalement nous pouvons déterminer tous les minéraux du spectre et donc connaître la composition de l'échantillon. Nous avons aussi appliqué le DRX pour savoir la composition des minéraux argileux.

Pour l'analyse du bulk (le sol dans son ensemble) nous avons appliqué le DRX sur le sol en poudre non orientée avec une mesure entre 1° et 80° .

Pour l'étude de composition argileuse, les minéraux sont identifiés par diffraction des rayons X sur la fraction inférieure à $2 \mu\text{m}$ séparées aux résines sodiques. Les spectres ont été obtenus sur un échantillon orienté avec le diffractomètre D8 de Bruker ($\text{CuK } \alpha$, $\lambda = 0.15418 \text{ nm}$, 40 KV, 30 mA et $2^\circ = 1^\circ/\text{min}$).

Les manipulations sur la fraction argileuse ont été réalisées après destruction de la matière organique au peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et après traitement au DCB (dithionite citrate bicarbonate). Après ces traitements, les argiles ont été saturées respectivement en K^{+} et Mg^{2+} par des solutions

normales de KCl et MgCl_2 (3 cycles de saturation). Les argiles traitées au K ont été chauffées à 105 °C, 300 °C et 550 °C. Celles au Mg ont subi une solvatation à l'éthylène glycol (p. ex.) sous vide pendant 16 h (Robert et Tessier, 1974).

Carbone et Azote total Ces résultats ont été obtenus par combustion sèche avec un CNS (*Carbon/Nitrogen/Sulfur*) analyzer (Série Flash EA1112) sur des échantillons broyés.

Extraction au CaCl_2 Afin de déterminer le stock de Si bio-disponible ou facilement soluble pour la plante dans le sol, nous appliquons une extraction au CaCl_2 0.01M sur un échantillon de 5g de sol. Nous mélangeons ceci avec 50 ml de CaCl_2 durant 25h à 20°C puis nous effectuons une centrifugation et une filtration pour analyser les concentrations à l'ICP-AES (Hayson et Chapman, 1975).

A.3 Résultats

A.3.1 Propriétés du biochar

Tableau A.2 – Composition physicochimique des biochars de résineux (SW) et de miscanthus (Mi) à 550 °C et 700 °C.

	pH-H ₂ O	C (g/Kg)	N (g/Kg)	C/N	Si (g/Kg)
Mi 550°C	10.1	128,47	3,41	38	34,65
Mi 700°C	9.72	16,01	2,05	78	26,27
SW 550°C	7.4	144,11	1,48	98	0,77

Dans la Table A.2, nous pouvons confirmer que les concentrations en silicium sont différentes dans les deux types de biochar. Le biochar de miscanthus est environ 30 fois plus riche que celui de résineux, et ce à 550 et 700°C.

Le pH est plus élevé pour le miscanthus (pH 10) que pour le résineux (pH 7), mais les deux sont plus basiques. La température de pyrolyse affecte peu la différence de cette caractéristique.

À propos du carbone, son contenu diminue de +/- 90 % lors de la hausse de température dans le biochar de miscanthus. L'azote baisse aussi dans le même cas, mais de façon moins marquée. Entre nos deux types de biochar (Mi et SW) à même température (550°C), la teneur en carbone est légèrement plus haute dans le biochar de résineux, tandis que la quantité d'azote est double dans le miscanthus.

A.3.2 Propriétés du sol

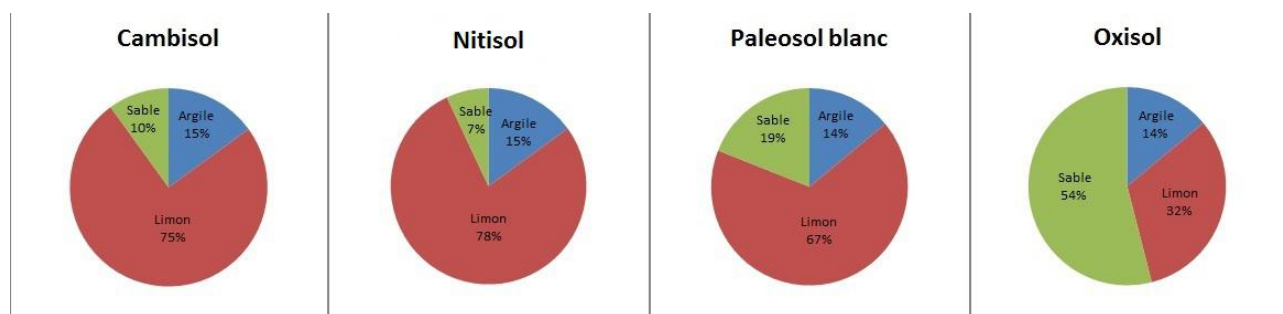


FIGURE A.23 – Granulométrie et quantification des sables - limons - argiles.

Granulométrie La figure A.23 affiche la répartition des sables, limons et argiles dans les 4 types de sols que nous analysons. Nous voyons que le cambisol et le paléosol rouge sont équivalents, que le paléosol blanc suit la même tendance, mais la composition du lixisol du Burkina Faso est très différente. Autant le pourcentage d'argile est commun à nos sols, ce sont les limons et les sables qui font les différences. Le pourcentage de sable dans le paléosol blanc est de 19%, ce qui est le double du cambisol et du nitisol qui compensent par plus de limons. Le lixisol, quant à lui, est fait de sable sur plus de la moitié (54%) de sa composition texturale.

pH Tous les sols sont acides comme nous le montre le tableau A.3, surtout le cambisol. La différence d'acidité du lixisol sur KCl, avec tous les protons en solution, et sur H₂O est plus grande comparée aux autres sols. Si nous observons les différences de pH-CaCl₂ (tableau A.4) avec un amendement au biochar sur cambisol et nitisol, il y a dans les deux cas une augmentation lors de l'ajout de biochar miscanthus, ce qui n'est pas marqué avec celui de résineux. La hausse de pH est surtout visible sur le nitisol où il passe de 4.32 à 5.79.

Tableau A.3 – pH-H₂O et pH-KCl du cambisol, des paléosols rouge et blanc et du lixisol, sans amendement.

	pH-H ₂ O	pH-KCl
Cambisol	4.54	3.59
Nitisol	5.46	4.39
Paléosol blanc	5.32	4.42
Lixisol	5.4	4.01

Carbone et Azote La teneur en azote est légèrement plus haute dans le cambisol que dans les autres sols pauvres qui en ont très peu (<0.1%). Seul l'ajout de biochar miscanthus 700°C à une concentration de 3% sur le nitisol semble impacter et quadrupler le montant initial en N.

À propos du contenu en carbone, le lixisol est à 0.47% ce qui est plus riche que le nitisol et le paléosol blanc, mais 3 fois moins que le cambisol qui est à 1.41%. On observe une croissance du C avec tous les types de biochar, principalement celui de miscanthus à 700°C. Cependant, la différence de hausse entre les deux n'est pas significative, sauf dans le cas du paléosol blanc où le biochar de miscanthus amène à un contenu en carbone de 5,08 % tandis que celui de résineux mène à 7.04%. La concentration appliquée va également impacter ces augmentations où le contenu en C avec une application de 1% est inférieur à celui avec 3%. Si nous comparons les résultats à 3% et ceux des sols sans amendement, les évolutions sont très distinguées. En effet, le contenu en C a plus que doublé pour le cambisol, tandis que les sols pauvres voient leur concentration être multipliée par 35 (Mi) ou 44 (SW) pour le nitisol, et par 352 (SW) ou 254 (Mi) dans le cas du paléosol blanc.

CEC La première valeur qui ressort de ces analyses dans la figure A.4 est la chute de la CEC avec l'amendement au biochar à 700°C qui prend la valeur de 1.1 méq/100g pour le cambisol. Toutes les autres variations sont beaucoup moins marquées. La capacité d'échange cationique de 6.67 méq/100g diminue pour le cambisol avec le biochar résineux et en fonction de la concentration, mais le biochar miscanthus montre une faible hausse avec une concentration de 1% et une chute avec celle de 3% qui l'amène à 5.98 méq/100g. La tendance est inversée pour le nitisol grâce à une hausse de la CEC dans la majorité des cas sans vraie différence avec la concentration, avec la particularité que celle du biochar résineux à 3% est inférieure à celle de concentration 1%. Le comportement du paléosol blanc vis-à-vis de la CEC est comme le nitisol, mais il y a un phénomène inverse entre le biochar Mi et SW qui démontre une plus grande augmentation, malgré des résultats inférieurs à ceux du paléosol rouge. Finalement, la CEC du lixisol à 1.93 méq/100g est plus importante que celle des autres sols pauvres, mais presque 3.5 fois plus faible que le cambisol riche.

À propos du complexe d'échange, il est modifié uniquement par le biochar Mi grâce à l'apport de potassium et ce en fonction de la concentration amendée et de la température.

Saturation en Base Dans le cas du cambisol et du nitisol, les sites sont moyennement saturés sauf pour le miscanthus 700°C du premier et pour le Mi 3% et SW 3% du second où on reporte de grandes sursaturations en cations. La saturation du paléosol blanc semble naturelle et il y a peu de variations lors d'un amendement SW, mais une sursaturation se présente dans le cas du Mi. Le lixisol quant à lui est saturé à 74%. Les fluctuations de la saturation en base des sols pauvres sont très discutables, car leur CEC est tellement faible qu'une simple variation peut modifier fortement sa valeur.

Analyse totale Nous pouvons observer dans le tableau A.5 que la teneur en Si du lixisol est la plus élevée (415,25 g/Kg), son contenu en aluminium est haut (39,22 g/Kg) et il en est de même pour le fer (18,47 g/Kg). Il y a une multitude d'éléments différents en quantité marquée dans le cambisol, surtout Al, Fe, K et Si et il est aussi plus riche comparé aux autres dans certains composés comme le Ca (3,31 g/Kg). Les contenus en Al (plus de 90 g/Kg), du Si et du K montrent des similitudes entre les paléosols, le blanc et le nitisol, mais ce dernier est 10x plus concentré en fer (30,61 g/Kg), ce qui est même supérieur au cambisol (18,47 g/Kg).

Tableau A.4 – Caractéristiques physicochimiques des sols avec et sans biochar de résineux et miscanthus, appliqués à des taux de 1 et 3% en poids.

	pH	C total (%)	N total (%)	C/N	CEC (méq/100g)	Complexe d'échange (cmol c/Kg)				BS (%)
	CaCl2					Ca	K	Na	Mg	
Cambisol Mi 1% Mi 3% Mi 3% (700°) Sw 1% Sw 3%	3,72	1,41	0,12	11,85	6,67	2,31	0,20	0,39	0,04	44,08
	-	2,15	0,12	17,55	6,88	2,33	0,47	0,42	0,05	47,38
	4,08	3,58	0,13	28,52	5,98	2,36	0,97	0,47	0,07	64,72
	-	4,94	0,13	37,02	1,1	2,30	1,36	0,41	0,06	375,45
	-	2,39	0,13	18,88	6,62	2,26	0,20	0,39	0,04	43,50
	3,73	3,09	0,12	25,47	6,14	2,29	0,22	0,39	0,04	47,88
Nitisol Mi 1% Mi 3% Mi 3% (700°) Sw 1% Sw 3%	4,32	0,06	0,03	2,162	0,68	0,15	0,05	0,30	0,01	75,00
	-	0,79	0,05	14,94	1,08	0,21	0,20	0,33	0,03	71,30
	5,79	2,13	0,06	37,05	1,04	0,36	0,81	0,37	0,07	154,81
	-	8,28	0,12	70,8	1,1	0,21	0,91	0,33	0,05	63,41
	-	0,79	0,05	15,92	0,99	0,15	0,05	0,30	0,02	52,53
	4,44	2,64	0,05	49,53	0,87	0,16	0,07	0,30	0,02	264,00
Paleosol blanc Mi 3% Sw 3%	-	0,02	0,04	0,46	0,68	0,29	0,02	0,41	0,01	106,32
	-	5,08	0,05	106,9	0,49	0,46	0,54	0,46	0,04	306,12
	-	7,04	0,06	115,4	0,7	0,32	0,04	0,40	0,01	110,00
Lixisol	-	0,47	0,04	13,27	1,93	0,75	0,25	0,40	0,02	73,57

Tableau A.5 – Analyse totale du cambisol, du nitisol, du paléosol blanc et du lixisol.

(g/Kg)	Al	Fe	K	Si	Ca	Mg	Mn	Na	P	Sr	Zr	Ti	Ba
Cambisol	39,22	18,47	15,62	376,86	3,31	3,15	0,37	6,86	0,61	0,05	0,62	4,34	0,29
Nitisol	96,50	30,61	30,35	312,01	0,20	1,63	0,04	1,77	0,15	0,09	0,24	5,63	0,66
Paléosol blanc	90,35	3,26	23,93	339,17	0,37	1,40	0,04	1,85	0,14	0,08	0,35	5,59	0,44
Lixisol	28,00	10,49	6,44	415,25	1,62	1,38	0,14	1,42	0,23	0,04	0,56	3,41	0,14

DRX Les résultats du DRX (Table A.6) ont été déterminés à l'aide de graphes (Annexe B.4) dont les pics renseignent sur la présence de minéraux particuliers ou sur les variations qu'ont pu apporter les traitements pour les argiles (K,Mg). Cette analyse visuelle des minéraux a été rendue plus difficile par la présence du quartz dans les échantillons qui dominait tous les pics. C'est pour cette raison que nous avons mis en évidence les composés assurés et que ceux qui nécessitent une recherche approfondie sont dans les perspectives.

À propos des minéraux primaires du sol brut, le lixisol est le moins riche et seuls du quartz et de la kaolinite sont représentés. La composition des trois autres sols est plus variée avec de la muscovite, de l'albite pour le cambisol, des oxydes de fer pour le paléosol rouge/nitisol et des pics d'illite fortement marqués dans le cas du paléosol blanc.

La composition des minéraux argileux, plus précise au DRX, a mis en évidence des variations. Celle du cambisol montre la plus grande diversité avec du quartz marqué, des argiles gonflantes et c'est le seul sol à avoir conservé des chlorites. Excepté des traces de smectites dans le lixisol, on retrouve les mêmes éléments pour les autres types de sols avec du quartz peu marqué, de l'illite et de la kaolinite.

Tableau A.6 – Analyse qualitative des minéraux dans le sol brut et des minéraux argileux au DRX sur cambisol, nitisol, paléosol blanc et lixisol.

	Cambisol	Nitisol	Paleosol blanc	Lixisol
Sol brut	Quartz Kaolinite Muscovite Albite	Quartz Kaolinite Muscovite Hematite Goethite	Quartz Kaolinite Muscovite Illite	Quartz Kaolinite
<i>Perspectives</i>	Pyroxene Hematite Goethite	Baumite Alurgite		
Minéraux argileux	Quartz Illite Kaolinite Smectite (Argiles gonflantes) Chlorite	~Quartz Illite Kaolinite	~Quartz Illite Kaolinite	~Quartz Illite Kaolinite ~Smectite

extraction CaCl_2 Dans un premier temps, nous pouvons voir dans la figure A.24 qu'entre le cambisol et le nitisol, la teneur en Si disponible pour la plante est moins élevée pour le sol pauvre (24.9 mg Si/Kg sol) que pour celui qui est riche (33.9 mg Si/Kg sol). Ensuite le biochar de miscanthus relâche davantage de Si que le résineux, peu importe la concentration pour le cambisol (1% - 33.6 mg Si/Kg sol, 3% - 43.1 mg Si/Kg sol), mais ce n'est vrai que pour 3% de Mi appliqué sur nitisol (38.7 mg Si/Kg sol). On remarque une baisse de silicium avec 3% de biochar de résineux sur les 2 types de sols, mais la hausse est marquée dans le cas de l'amendement au miscanthus à cette même concentration. En effet, comparé au sol non amendé, on observe une croissance de 27.1% et 55.5% pour le cambisol et nitisol respectivement.

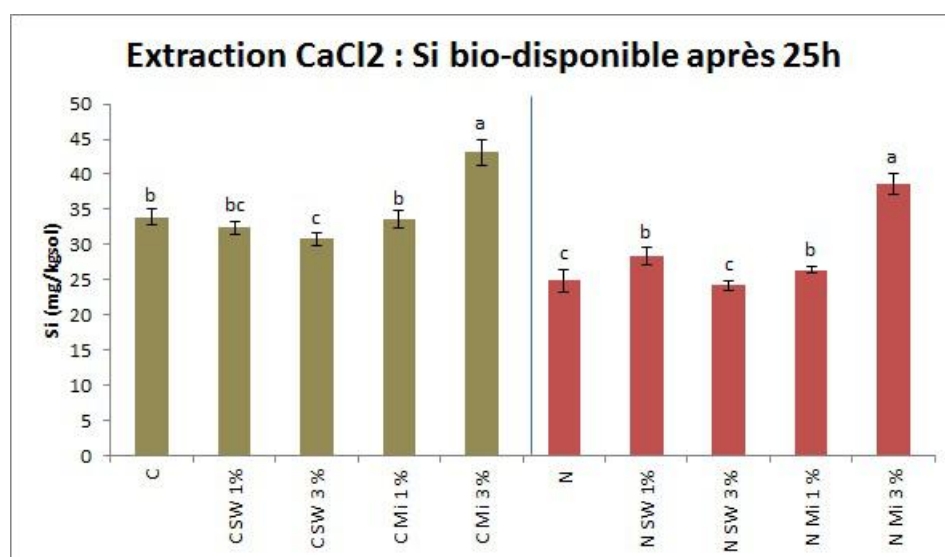


FIGURE A.24 – Quantités cummulative de Si biodisponible dans des sols tempérés (cambisol C) ou tropicaux (Nitisol N), avec ou sans amendement biochar riche en Si, extraites au CaCl_2 0.01M durant 25h. Les moyennes sont comparées au moyen de lettres qui marquent la différence significative avec un niveau de confiance $p < 0.05$ selon le test de comparaison de Duncan.

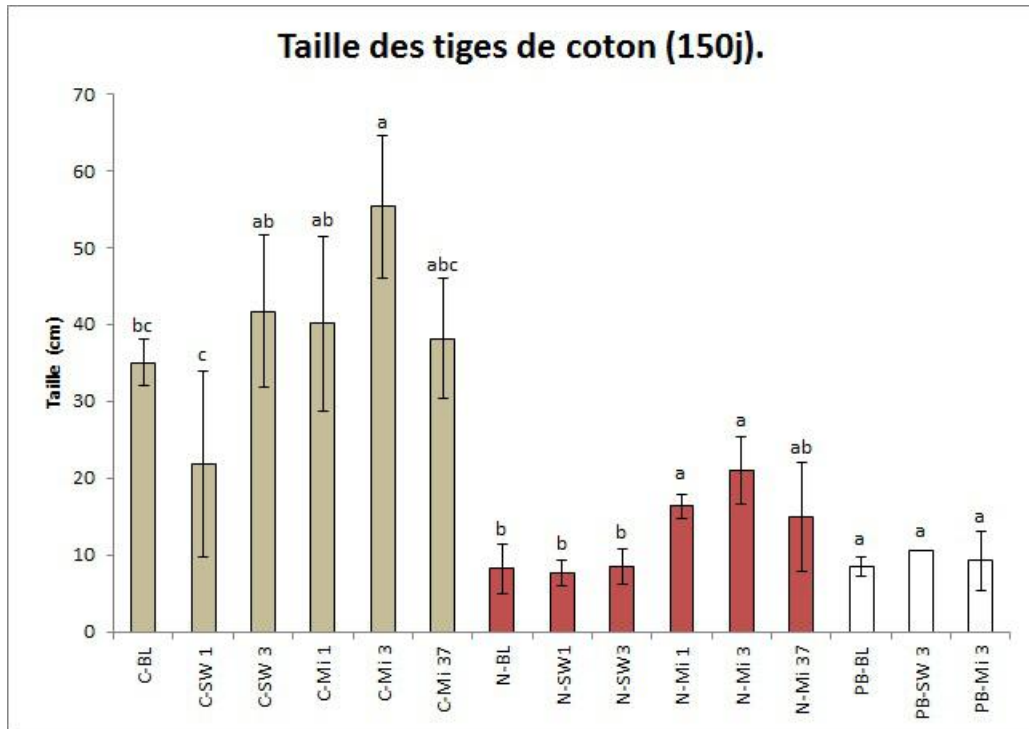
A.3.3 Relations sol-plante

Croissance de la plante Nous pouvons voir dans la figure A.25 - a) et b) que la taille des tiges et la biomasse produite semblent suivre les mêmes tendances. La hauteur est un indicateur visuel de développement du coton, mais nous nous basons sur la masse de matière qui a été créée pour comparer nos échantillons. Il est clair que le cambisol était un meilleur substrat pour la croissance de la plante comparé aux sols pauvres, même avec un amendement au biochar. Mis à part le cambisol amendé avec 1% de SW, toutes les biomasses de ce sol sont supérieures à 8g/plant alors qu'aucune ne dépasse les 2g/plant sur nitisol et paléosol blanc réunis.

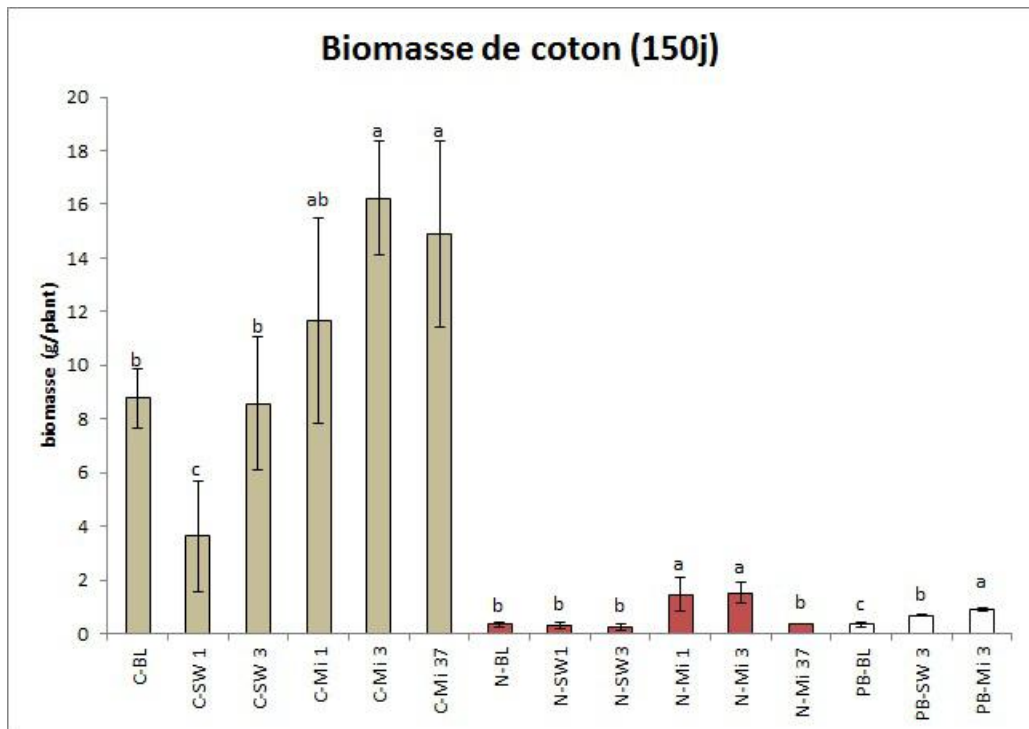
Concernant ce sol riche, l'amendement en biochar de miscanthus riche en Si a apporté les meilleurs résultats avec 16,2 g/plant pour une concentration de 3% et 14.9 pour les 3% de biochar pyrolysés à 700°C. À propos du nitisol et du paléosol blanc, les tendances sont communes avec une biomasse très faible sur les sols non-amendés (0.33 g/plant et 0.34 g/plant respectivement). Cependant il y a une forte augmentation lors de l'application de biochar miscanthus 550 °C : les concentrations de 1 et 3% donnent respectivement 1.46 g/plant et 1.51 g/plant chez le paléosol rouge, tandis que l'on note 0.87g/plant dans le cas du blanc à 3%. Seul ce sol blanc semble avoir bénéficié de l'amendement en biochar résineux, car il a produit jusque 0.68 g/plant. Aucun changement de rendement n'est perçu chez le nitisol à Mi 3% de 700°C et on observe une stagnation de production chez le sol non amendé.

Contenu en silicium par gramme de coton Nous pouvons voir dans la figure A.26 - a) que le résultat du nitisol sans amendement a dû être supprimé, car il a été déterminé comme erroné, probablement à cause d'une erreur expérimentale. De plus, nous avons dû cumuler les différents réplicats sur sol pauvre pour obtenir une concentration mesurable, ce qui explique que nous avons une valeur unique sans erreur. Ensuite, ces résultats ne sont pas représentatifs de la concentration réelle dans la plante, car le silicium s'accumule surtout dans les feuilles, or celles-ci n'ont pas été

FIGURE A.25 – Résultats Suite à la croissance du coton *Gossypium hirsutum* phytotron durant 150 jours. a) Tailles des tiges de coton b) Biomasse de coton. C : cambisol; N = nitisol; PB = paléosol blanc. Les moyennes sont comparées au moyen de lettres qui marquent la différence significative avec un niveau de confiance $p < 0.05$ selon le test de comparaison de Duncan.



(a) Taille des tiges de coton après une croissance de 150 jours sur sols tropicaux ou tempérés, amendés au biochar riche en Si ou non, à des concentrations de 1% ou 3%.



(b) Biomasse produite par les plants de coton après une croissance de 150 jours sur sols tropicaux ou tempérés, amendés au biochar riche en Si ou non, à des concentrations de 1% ou 3%.

broyées dans cette expérience de peur d'avoir une contamination.

D'abord dans le cambisol, le contenu en Si a diminué pour les deux concentrations en biochar résineux. C'est aussi le cas pour le Mi 1%, mais on observe qu'un échantillon tire les valeurs vers le bas et que l'erreur (écart-type) est très grande (399.5 ± 274.1 mgSi/gsol). Les échantillons avec biochar de miscanthus 3% à 550°C et 700°C ont une moyenne très proche qui est la plus haute concentration pour le sol riche (± 645 mgSi/gsol), mais des concentrations plus extrêmes sont représentées avec l'amendement à plus haute température.

À propos du nitisol, la concentration en Si pour les applications de 1% et 3% de Mi correspondent à celles sur cambisol avec 408 mgSi/gsol et 561 mgSi/gsol respectivement. Une concentration de 846.6 mgSi/gsol a été mesurée dans l'échantillon qui a reçu l'amendement à 700°C, ce qui est supérieur à toutes celles dans le cambisol ou le paléosol blanc. Pour ce dernier, l'amendement par biochar à 3%, quelle que soit sa nature, a fait grimper son contenu initial de 579 mgSi/gsol à environ 740 mgSi/gsol ce qui est également plus haut que les concentrations sur cambisol.

En terme de comparaison pour le cambisol et le nitisol, la teneur en Si est dans les plus élevées de l'expérience pour le coton qui a reçu le biochar de Mi pyrolysé à haute température. Ensuite, le type de biochar a eu des impacts différents : à température et concentrations d'amendement égales, le Mi semble avoir apporté plus de Si que le SW pour le cambisol mais ce serait le contraire pour le nitisol. La concentration de Si du paléosol blanc a quant à elle augmenté de façon équivalente avec les deux types de biochar. Finalement en terme de quantité de biochar amendé, nous voyons sur le graphe qu'il y a toujours des valeurs de silicium plus hautes avec une concentration de biochar croissante, sauf dans le cas du SW où il y a exception.

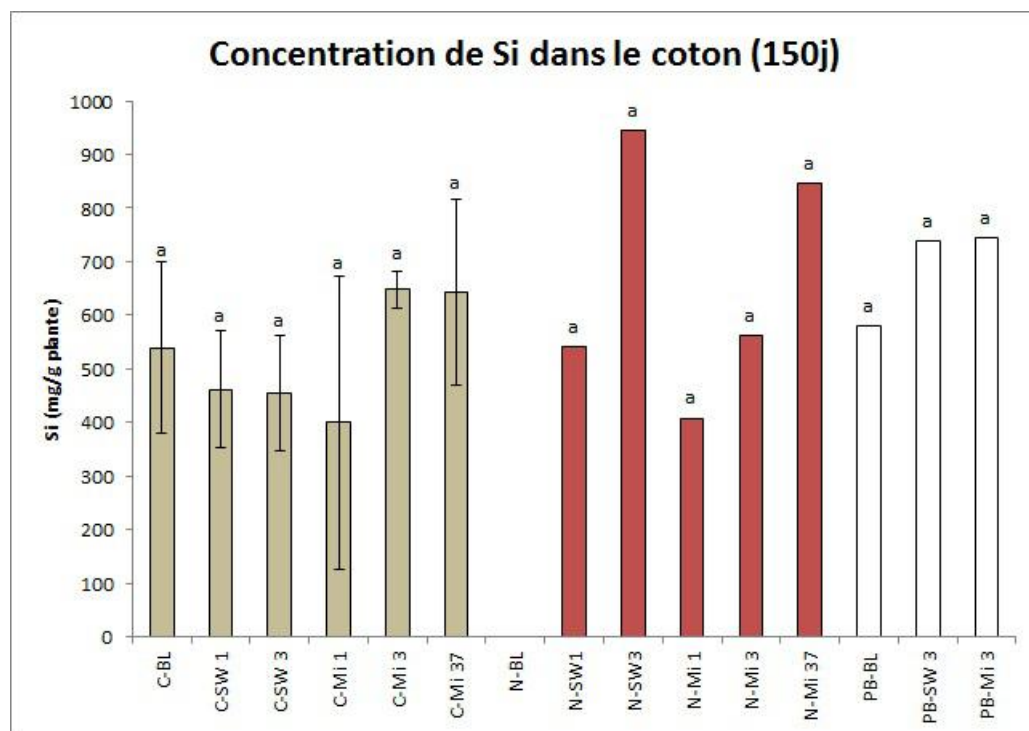
Minéralomasse Le graphe de la figure A.26 - b) compare les minéralomasses des plantes avec amendement au biochar et s'exprime alors en mgSi/plante. Comme pour le point précédent, nous devons mettre le nitisol sans biochar de côté.

Les tendances se dessinent et les plantes sur cambisol possèdent beaucoup plus de silicium que celles sur sols pauvres qui ont des valeurs très faibles. Pour le sol riche, le contenu en Si a diminué avec les applications de biochar résineux comparé au sol neutre (4.1 mgSi/plante), et ce, différemment selon le taux d'application (1% - 1.4 mgSi/plante et 3% - 3.3 mgSi/plante). Celui issu du miscanthus à un taux de 1% est identique au cambisol neutre, mais l'application 3% Mi montre une forte augmentation du contenu en Si (8.9 mgSi/plante) et est en tête avec la plante sur biochar de miscanthus à 700°C (9.1 mgSi/plante).

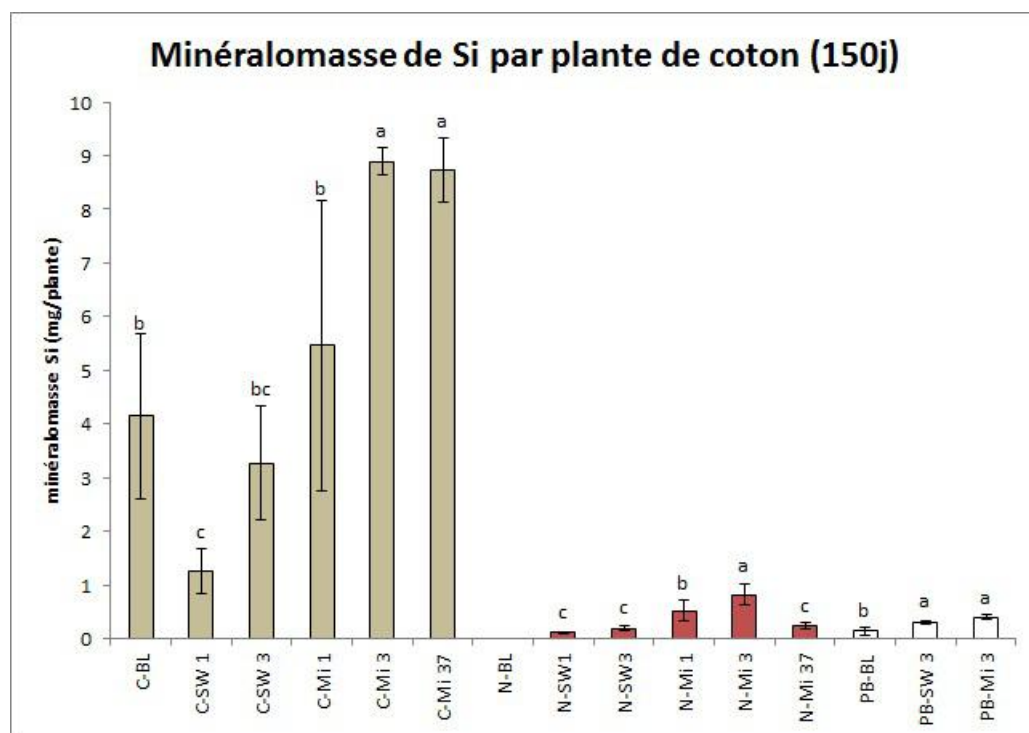
À propos des sols pauvres, la minéralomasse augmente avec la concentration de biochar amendé dans tous les cas. Pour le nitisol, ce sont les cotons sur Mi qui sont significativement plus riches en Si (1% - 0.5 mgSi/plante et 3% - 0.8 mgSi/plante). Le taux initial de 0.1 mgSi/plante des paléosols blancs se voit quant à lui passer à un contenu plus au moins équivalent de 0.3 mgSi/plante pour SW et 0.4 mgSi/plante pour Mi.

La température de pyrolyse n'a pas montré d'impact dans le cas du cambisol car le contenu en Si est équivalent pour le Mi à 550°et à 700°C, mais il diminue chez le nitisol qui descend à une valeur de 0.2 mgSi/plante. Concernant le taux d'application de l'amendement, dans tous les cas la minéralomasse croît en parallèle avec celui-ci. Enfin pour le cambisol et le nitisol, si on compare avec des types de biochar pyrolysés à même température et avec une même concentration, le contenu en silicium par plante est plus que double si on observe les résultats des plantes dont le sol a été amendé par biochar de miscanthus ou de résineux.

FIGURE A.26 – Résultats Suite à la croissance du coton *Gossypium hirsutum* phytotron durant 150 jours, à l'analyse de son contenu en silicium et à la minéralomasse. a) Concentration de Si dans le coton b) Minéralomasse de Si par plant de coton. C : cambisol ; N = nitisol ; PB = paléosol blanc. Les moyennes sont comparées au moyen de lettres qui marquent la différence significative avec un niveau de confiance $p < 0.05$ selon le test de comparaison de Duncan.



(a) Concentration en silicium (mgSi/gplante) contenu dans la biomasse de coton analysée, qui s'est développée durant 150 jours sur sols tropicaux ou tempérés, amendés au biochar riche en Si ou non, à des concentrations de 1% ou 3%.



(b) Minéralomasse de l'entièreté du plant de coton (mgSi/plante), qui s'est développé durant 150 jours sur sols tropicaux ou tempérés, amendés au biochar riche en Si ou non, à des concentrations de 1% ou 3%.

A.4 Discussion

A.4.1 Comparaison Lixisol et Paléosol

Dans un premier temps, nous allons comparer les paléosols et le lixisol afin de vérifier notre hypothèse que ces deux substrats pour l'agriculture peuvent être mis en parallèle.

Du point de vue de la texture, le sol burkinabé est nettement plus sableux et a donc moins de limon que les sols de Transinne. C'est un indicateur de la rétention en eau qui est alors meilleure chez les paléosols. Cette différence de texture contribue déjà à la croissance des plantes, car la Réserve Utile en Eau (RUE) est améliorée grâce aux limons. À propos de la fertilité d'un sol et de sa capacité à accueillir des parcelles agricoles, nous analysons aussi le pH, la CEC et la saturation en base. D'abord ces deux types de sols sont très acides ce qui est le résultat d'une altération poussée. Cette égalité permet de faire des comparaisons pour la suite, car c'est un critère qui a un impact sur la majorité des autres comme la CEC. Cette dernière est justement 3 fois plus importante pour le lixisol que les paléosols. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que le lixisol provient d'une surface agricole donc il possède davantage de matière organique qui participe beaucoup à la CEC d'un sol. Cette hypothèse est prouvée par le contenu en carbone qui est presque nul pour le paléosol. Cela signifie qu'il peut retenir plus de cations et est plus riche pour la plante que les sols rouges et blanc, mais il faut prendre conscience que ce taux reste très faible comparé au sol riche de Belgique. Nous trouvons en lien direct avec ce paramètre la saturation en base (BS) qui indique le remplissage des cations sur la CEC. Malgré une saturation du paléosol blanc, il y a une équivalence pour le rouge et le lixisol, mais ces résultats sont très hypothétiques vu la capacité d'échange cationique très réduite.

La composition de ces deux types de sol montre des différences, comme la présence d'oxydes de fer dans la nitisol, mais aussi d'argiles gonflantes (smectite) dans le sol burkinabé. Grâce à l'analyse totale, nous voyons également que l'aluminium et le potassium sont nettement plus présents chez les paléosols tandis que le fer a un pic de concentration chez la nitisol. C'est cet élément qui explique sa différence de couleur avec les autres.

Le lixisol et le paléosol ont donc des propriétés différentes. Une étude de terrain est dès lors nécessaire au Burkina Faso, car il est impossible de comparer l'expérience en phytotron et les résultats que l'on pourrait obtenir en culture sur le terrain. Cependant, leur composition renseigne sur le taux d'altération qui semble avoir été plus forte pour la saprolite que le lixisol africain.

A.4.2 Les sols amendés au biochar

Paléosols rouge et blanc Dans un premier temps, nous souhaitons comparer le paléosol rouge et blanc et les différences que pourrait apporter un amendement au biochar sur ces deux sols issus de la même carrière de kaolin.

Même si ce n'est pas exactement égal, la texture, le pH, la CEC, la composition des argiles et certains éléments de l'analyse totale suivent les mêmes tendances. Malgré leur origine commune dans la carrière de kaolin, ces deux paléosols présentent certaines différences qui modifient leurs propriétés.

Les points qui diffèrent sont la saturation en base, saturée pour le paléosol blanc et pas le nitisol, mais ce paramètre est très influencé par de faibles variations de la CEC, car elle est très faible chez les sols pauvres. C'est principalement la quantité en fer qui est clairement plus élevée pour le nitisol. Comme nous l'indique le DRX, des oxydes de fer expliquent cette tendance dans la minéralogie et sont à la base de cette couleur rouge très particulière. Nous pouvons donc supposer que si des différences surgissent dans la croissance des plantes et le contenu en silicium, le fer pourrait en être la cause. En effet, mis à part le contenu total en Fe, les autres paramètres ne semblent pas varier significativement.

Nitisol et cambisol Ces deux sols ont une texture presque identique ce qui pourrait indiquer que la rétention d'eau est la même et la quantité d'eau disponible pour la plante également. Cependant, l'acidité du cambisol est plus élevée que celle du nitisol ce qui va influencer la croissance du coton via la bio-disponibilité de certains éléments. D'un point de vue minéralogie, il est clair que le cambisol est un sol beaucoup plus jeune que l'autre, car il contient encore des chlorites ou même des smectites qui ne sont pas encore altérées. Au point de vue de l'analyse totale, nous voyons que le nitisol est plus riche en Al, Fe et K, mais la teneur pour d'autres cations et le Si est plus élevée pour le cambisol. Dans le cas du sol riche, malgré son contenu en fer, le carbone donne sa couleur brune et est nettement plus concentré que dans le sol pauvre.

Lors de l'apport de biochar, nous observons quelques changements qu'il est intéressant de noter. La première remarque est que sur le complexe d'échange, seul le potassium évolue et uniquement dans le cas du biochar de miscanthus, peu importe sa concentration. Nous pourrions donc supposer que ce type d'amendement amène du K au sol, contrairement au biochar de résineux. On voit aussi que le biochar de miscanthus offre un effet de chaulage (augmentation de pH importante) et presque pas pour celui de résineux. Cela correspond bien au fait qu'il est plus basique (pH 10) au départ. À propos de la CEC, elle est peu affectée par le biochar même si on observe une augmentation pour le nitisol et une diminution pour le cambisol. La chute pour C-Mi3% à 700C pourrait résulter d'une baisse de la CEC avec la température de pyrolyse (Budai et al., 2014), mais cette hypothèse est controversée (Lehmann, 2007). Le taux de saturation en base est une fois de plus difficile à comparer entre ces deux sols, car les changements pour le nitisol sont marqués par une faible modification de CEC. Cependant, nous voyons que dans le cas du cambisol, l'application de biochar Mi à 3% va effectivement augmenter la saturation en base, ce qui correspond alors à un apport de cations sur le complexe d'échange. Cela s'expliquerait par l'apport de K⁺ du biochar et les modifications de pH.

Finalement, nous voyons que la fertilité du cambisol est nettement plus grande que celle du nitisol. En outre, ce qui différencie les échantillons lors de l'apport de biochar est principalement le pH par un effet de chaulage du biochar Mi tandis que celui de SW ne montre pas d'effet significatif. Pour avoir une comparaison plus approfondie, nous devrions analyser les différences de structure, d'aération ou de porosité qui influencent aussi la croissance des plantes.

A.4.3 Croissance des plantes

Nos analyses vont nous permettre d'établir la relation entre la richesse du substrat, l'application d'un amendement au biochar et la croissance des plantes.

Avant tout, si nous analysons la taille des tiges et la biomasse du coton, nous voyons que les tendances sont les mêmes, mais néanmoins pour les sols pauvres, la hauteur de la tige ne correspond pas à la production de biomasse ce qui est dû au développement végétatif. Ce n'est donc pas un bon critère de comparaison et nous utiliserons uniquement la biomasse.

Lorsque nous comparons les deux paléosols, la croissance est plus marquée avec le biochar de Mi. Cela correspond aux changements de pH qui jouent un rôle dans la fertilité. Le biochar résineux ne montre pas d'amélioration de croissance sauf à 3% pour le paléosol blanc, mais cette catégorie n'avait que deux réplicats.

Si nous observons le nitisol et le cambisol, ce dernier montre clairement qu'il est plus riche et fertile et offre tous les plus hauts taux de croissance. L'amendement en biochar de Mi montre des hausses de développement significatives, et ce en fonction de sa concentration. Cela correspond aux modifications de pH ou encore à l'apport de K^+ qui est une hypothèse plausible (BetterCrops, 1998). Par contre celui de résineux aurait un effet néfaste ou indifférent, sauf dans le cas du paléosol blanc qui fait exception. La diminution est difficilement explicable et peut être la conséquence de variations expérimentales ou bien nous pourrions poser l'hypothèse que c'est la quantité plus faible de Si qui serait l'élément limitant. Le fait que le niveau n'évolue pas et reste le même dans certains cas s'explique, quant à lui, par la stabilité du pH. Dans tous les cas, nous supposons que les faibles variations de CEC n'expliquent pas les développements différents du coton avec ou sans biochar tandis que le taux de saturation en base semble modifié principalement par l'apport de K^+ . Finalement, la température de pyrolyse à $700^{\circ}C$ montre de moins bons résultats que le biochar à $550^{\circ}C$, mais il y a quand même un bon développement dans le cas du cambisol. Peut-être que les propriétés physiques du composé sont différentes, ou bien ce serait le changement en contenu élevé de carbone qui diminue la fertilité.

Nous pouvons donc dire que ces résultats assurent que l'amendement au biochar de miscanthus augmente largement la production de biomasse, surtout sur des sols tropicaux extrêmement altérés. Ces améliorations seraient le résultat de l'effet de chaulage ou de l'apport de K^+ et le point suivant envisagera la participation du Si. Suite à la critique du mauvais broyage du biochar SW, il est prématuré de dire que son application n'apporte pas d'effets. Il est nécessaire de recommencer la manipulation avec des tailles de particules identiques pour effectuer des comparaisons.

A.4.4 Coton et silicium

Extraction $CaCl_2$ Dans un premier temps, le graphe de l'extraction au $CaCl_2$ sur cambisol et nitisol est crucial pour analyser le contenu en silicium du coton. Il nous permet de comparer le biochar de Mi et SW et de voir si la concentration en biochar a un réel impact. Nous observons d'abord le relargage de Si bio-disponible est naturellement plus grand pour le sol riche comparé au nitisol, ce qui est confirmé par le DRX qui montre des minéraux plus stables et moins solubles chez le sol pauvre. Ensuite, nous voyons que le biochar à 3% de miscanthus relâche beaucoup plus de Si que celui de résineux qui n'en apporte pas du tout. Cela correspond à nos valeurs de concentration en silicium dans les différents types de biochar avec un biochar-Si qui provient d'une plante riche en phytolithes. Par contre, à

une concentration de 1%, il n'y a pas d'augmentation significative. Cette observation nous indique que cette quantité d'amendements pourrait être insuffisante pour observer une libération de Si. Par l'analyse de ce graphique, nous pouvons penser dans un premier temps que la concentration en Si sera croissante avec la concentration de biochar riche en Si appliquée. Il est aussi possible que la nature du biochar soit importante, car le miscanthus qui est accumulateur de silicium relâche effectivement davantage de Si bio-disponible. Enfin, les effets de l'amendement sur le relargage de ce minéral sont marqués dans les deux types de sol. L'évolution des pics de libération de Si pourrait correspondre aux hausses de pH, en tout cas pour l'amendement à 3% Mi, mais il aurait été nécessaire d'avoir le pH à 1% d'application pour vérifier. Il est également possible que la solubilité d'autres composés soit modifiée à cause de l'augmentation du pH.

Concentration en Si dans les plants Avant d'observer les tendances, je porte l'attention sur le N-SW3 dont le pic est totalement inexpliqué or la concentration du nitisol blanc a pu être écartée à cause d'un contenu en Si excessif et d'une contamination certaine. Nous pouvons supposer qu'il en est alors de même pour cet échantillon incohérent et nous ne tenterons pas de l'expliquer. Ensuite, le C-Mi à 1% a une concentration moyenne en Si inférieure au blanc ce qui ne suit aucune de nos hypothèses selon lesquelles le biochar de miscanthus apporte du Si pour la plante. Néanmoins, nous voyons que l'erreur est très grande et il semblerait qu'un réplicat attire la moyenne vers le bas. Ensuite pour être complet avec nos analyses, nous aurions également dû utiliser toutes les feuilles produites par la plante, car ce sont elles qui contiennent le plus de Si et le coton n'est pas accumulateur de cet élément. Les concentrations sont alors très faibles et nous avons perdu le bénéfice d'avoir plusieurs réplicats à cause des quantités réduites de biomasse. Nous sommes donc très sujets à des erreurs sur le sol pauvre.

Malgré ces quelques complications, il est possible d'extraire des informations de ce graphe, même si nous devons garder l'hypothèse que cette expérience devrait être refaite pour assurer nos conclusions. Nous définissons des premières hypothèses qui serviront de base aux recherches futures et qui pourraient être contredites dans le cas de manipulations plus précises et avec plus de réplicats.

À propos de l'impact du biochar de résineux, il montre une fois de plus un effet indifférent ou stable sur le coton de cambisol qui ne voit pas sa concentration augmenter, sauf pour le paléosol blanc où l'effet est minime. En parallèle avec l'extraction en CaCl_2 , nous pouvons dire que le biochar SW n'apporte pas de Si bio-disponible au sol et que par conséquent la plante n'en absorbe pas davantage.

Par contre, le biochar de miscanthus, riche en phytolithes, révèle de nombreuses informations. Dans un premier temps, on observe une bien meilleure absorption de Si par les plantes, que ce soit sur sol riche ou pauvre. Comme énoncé précédemment, le taux d'application de l'amendement (1% ou 3%) est en relation avec le relargage croissant de Si-biodisponible par le sol mélangé au biochar. Nous pourrions faire la même hypothèse avec l'absorption des racines de ce Si en solution, mais ce n'est valable que pour le cambisol car nous n'avons pas les données nécessaires pour comparer le nitisol. Quant à la concentration issue du biochar pyrolysé à plus haute température, il semblerait qu'il apporte également du Si à la plante de la même manière qu'à température plus basse, mais nous manquons de données pour tirer des conclusions.

Ce sont ces observations qui confirment nos hypothèses : du Si a bien été relargué par du biochar de miscanthus dans le sol et le coton en a absorbé davantage grâce à cet amendement, quelle que soit la nature du sol. Par contre, nous ne sommes pas capables de nous prononcer sur l'impact du biochar SW. Nous pouvons aussi penser que par ces hausses de concentration en Si, le coton n'a pas atteint son seuil d'absorption en Si et qu'un amendement qui en apporte davantage pourrait alors permettre son absorption et fournir ses avantages à la plante (voir A.1.2 : Silicium - Rôles).

Minéralomasse Finalement, le dernier graphe de minéralomasse va intégrer la biomasse de coton et sa concentration en Si. Bien entendu, il perpétue les erreurs de la concentration en silicium ; c'est pourquoi nous devons rester objectifs et nous ne posons que des hypothèses.

Nous voyons que ce graphe suit les mêmes directions que la biomasse, si ce n'est que l'évolution avec la concentration en biochar de Mi appliquée est mieux marquée. En effet, le nitisol et cambisol montrent des taux successivement et significativement plus haut à 1 et 3% de biochar de miscanthus appliqué, malgré le N-Mi 3% qui stagne. Ces résultats concordent donc bien avec la concentration en Si bio-disponible dans les sols.

Concernant le biochar de miscanthus à 700°C, il y a un contraste entre la biomasse et la concentration de Si par plant. Nous pouvons observer que malgré sa concentration plus élevée pour le nitisol, la biomasse ramène la minéralomasse à un niveau très bas. Ce serait donc une plante qui se développe moins bien, mais avec une concentration en Si supérieure à une plante qui croît correctement. Cette hypothèse énoncerait que le Si ne participe pas à la fertilisation du sol et à la meilleure croissance du coton ce qui est contraire à nos suppositions précédentes. Le cambisol quant à lui évolue bien et absorbe la même quantité de Si, peu importe la température de pyrolyse de biochar, ce qui suppose qu'il relâche la même quantité de Si bio-disponible. Il aurait été nécessaire de réaliser l'extraction au CaCl_2 sur cet échantillon pour le confirmer.

Par contre nous ne tirons pas plus d'informations pour l'application de biochar résineux et pour la comparaison entre le paléosol rouge et blanc. Les évolutions sont les mêmes que pour la biomasse ou la concentration en Si par plante et les incertitudes persistent.

Finalement, il faut retenir que la minéralomasse du coton a été significativement influencée par le biochar de Mi, mais les résultats avec le SW nécessitent d'autres recherches. Ensuite, le taux d'application semble influencer le comportement de la plante qui absorbe davantage de Si avec une concentration plus haute d'amendement riche en silicium. Enfin, la température de pyrolyse ne changerait pas l'absorption de Si par la plante et cet élément ne participerait donc pas à la croissance du coton.

A.5 Conclusion

Au terme de l'expérience, le biochar semble répondre à ses promesses. Par contre, le biochar de Mi qui était beaucoup plus friable et riche en phytolithes a permis un meilleur développement du coton, quelle que soit la nature de la plante. Il est intéressant de constater que la plus grande évolution se fait sur les sols pauvres où la biomasse a été multipliée par 5 et uniquement par 2 dans le cas du cambisol. Malgré des variations de CEC minimes, cette meilleure production pourrait être expliquée par l'effet de chaulage de ce composé basique, par l'apport de K^+ ou encore grâce à l'absorption du Si supplémentaire.

En vue de ces informations, nous pouvons espérer des résultats identiques sur les sols burkinabés qui montrent des similitudes avec les paléosols belges. En effet, malgré sa composition sableuse, ce sont tous des sols très altérés, pauvres en nutriments et dont la CEC est très basse. Cependant, le lixisol possède de meilleures propriétés de fertilité mis à part sa rétention en eau et serait un substrat plus intéressant pour le développement de la plante. Nous pouvons émettre l'hypothèse que les bénéfices du biochar seront moins marqués sur le lixisol que sur le paléosol qui est moins riche, mais des essais en champs sont nécessaires pour le prouver.

À propos de la concentration en Si absorbée, les résultats mettent en évidence que les phytolithes présents dans le biochar peuvent être un pool important pour le relargage de silicium bio-disponible pour la plante. En effet, nous avons observé que le biochar de miscanthus libère effectivement ce minéral en solution, et ce en fonction de sa concentration. De même, le coton absorbe ce H_4SiO_4 disponible alors qu'il n'est pas accumulateur et montre des concentrations croissantes. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle il semblerait que le seuil de concentration maximal en Si n'est pas atteint. Un tel type d'amendement riche en phytolithes pourrait alors être utilisé et apporter des améliorations à la plante surtout en cas de stress. En terme de quantité de biochar nécessaire pour amender et obtenir une concentration de 3%, nous avons calculé un besoin d'environ 12.5 tonnes par hectare sur des parcelles de coton bio. Ce chiffre a été déterminé en prenant en compte une densité de plants de 62.500/ha (Helvetas, 2008) et un amendement par biochar de 200 grammes par cotonnier.

Finalement, nous voyons que le cambisol est nettement plus fertile que le nitisol. En outre, ce qui modifie l'augmentation des rendements de coton pour le Mi par rapport à SW est certainement expliqué par : l'augmentation nette de pH, par l'apport de K^+ ou par l'augmentation de Si bio-disponible. Dès lors, il est bon de voir que le miscanthus pourrait être un bon amendement pour le sol tropical, car, en plus de l'effet de chaulage, il augmente le stock de carbone organique ainsi que l'absorption de Si par la végétation. Nous le voyons grâce à l'augmentation de biomasse et de la minéralomasse en Si. Par conséquent, nous pouvons confirmer que le biochar de miscanthus, très riche en phytolithes, offre un amendement au Si au contraire du biochar de résineux qui n'en relargue pas en solution. Cet amendement fournit, par conséquent, les bénéfices du biochar et du silicium. Il est dans ce cas une solution plausible de source de silicium pour des plantes qui en auraient besoin.

Toutes ces hypothèses prouvent le potentiel agricole et économique du biochar. Le projet Koobo qui utilisera cet amendement pourrait alors profiter de ces améliorations de rendements et offrir une

solution durable au Burkina Faso pour une meilleure gestion des cultures de coton.

En conclusion, le biochar fait partie des solutions durables agroécologiques pour répondre à la sécurité alimentaire et participer à la régulation des changements climatiques. Cependant, il est certain que des recherches doivent être approfondies pour vérifier nos hypothèses et chiffrer les potentielles améliorations de rendement. Cette étape est prévue dans la phase 1 de Koobo : le projet pilote.

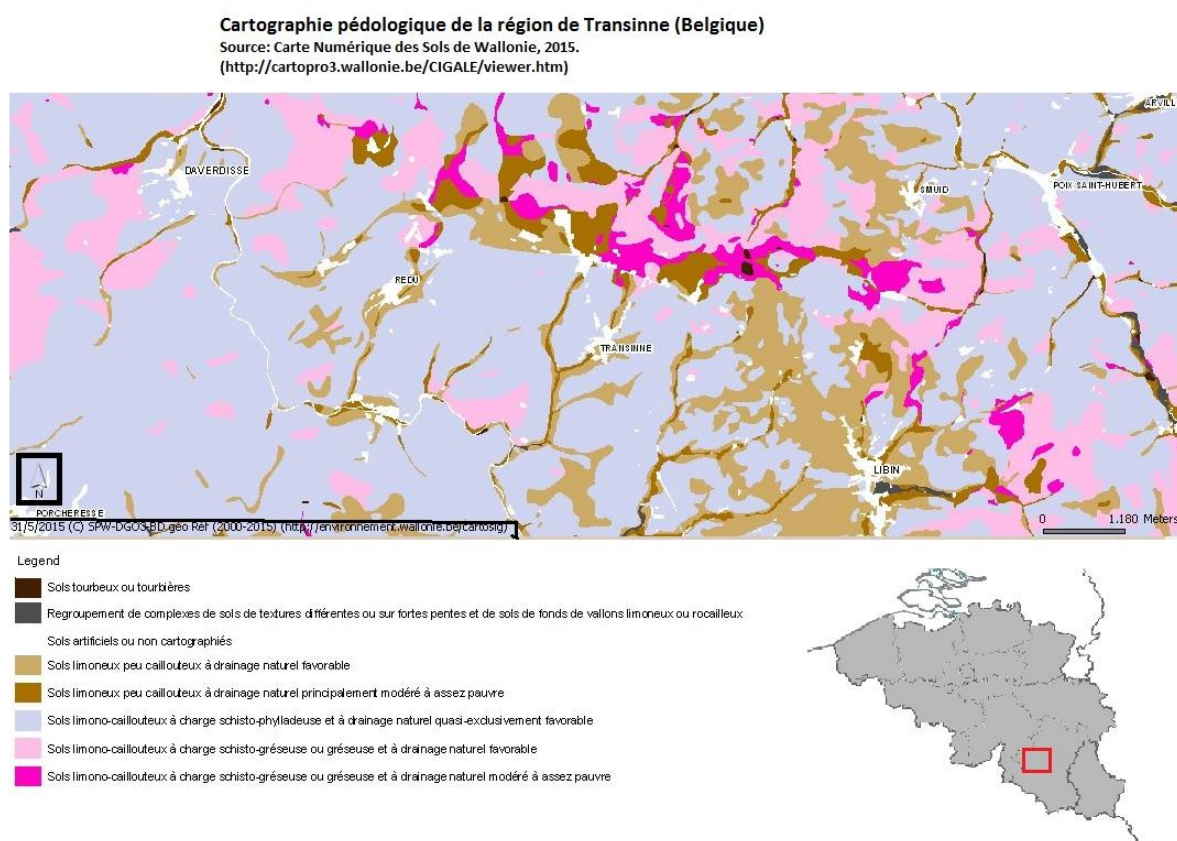
Perspectives Finalement, nous avons réussi à tirer des conclusions, mais les erreurs expérimentales sont nombreuses. Afin de préciser ces recherches, il est conseillé de réaliser le même type de manipulation en prenant plus de précautions, notamment par la non-contamination pour l'analyse en Si et un bon broyage du biochar. Pour les effets de l'amendement sur le coton, nous devons effectuer des essais en champs avec des conditions de terrain pour confirmer les bénéfices sur le rendement et assurer une homogénéité des conditions climatiques.

En parallèle à ses recherches, nous analysons les possibilités d'utilisation du biochar riche en phytolithes comme source de silicium disponible pour les plantes accumulatrices de Si. L'étude portera alors sur : la biodisponibilité du Si dans le sol et son impact sur la production végétale, la production du carbone organique inclus dans les phytolithes, le lessivage du Si et carbone organique dissout hors du système sol-plante et enfin sur l'altération chimique des minéraux silicatés. Les questions sur l'amendement biochar-Si sont encore nombreuses.

Annexe B

Annexe biochar-Si

B.1 Cartographie pédologique de la région de Transinne (Belgique) (CNSW)



B.2 Cartographie du Bois de Lauzelle par la CNSW

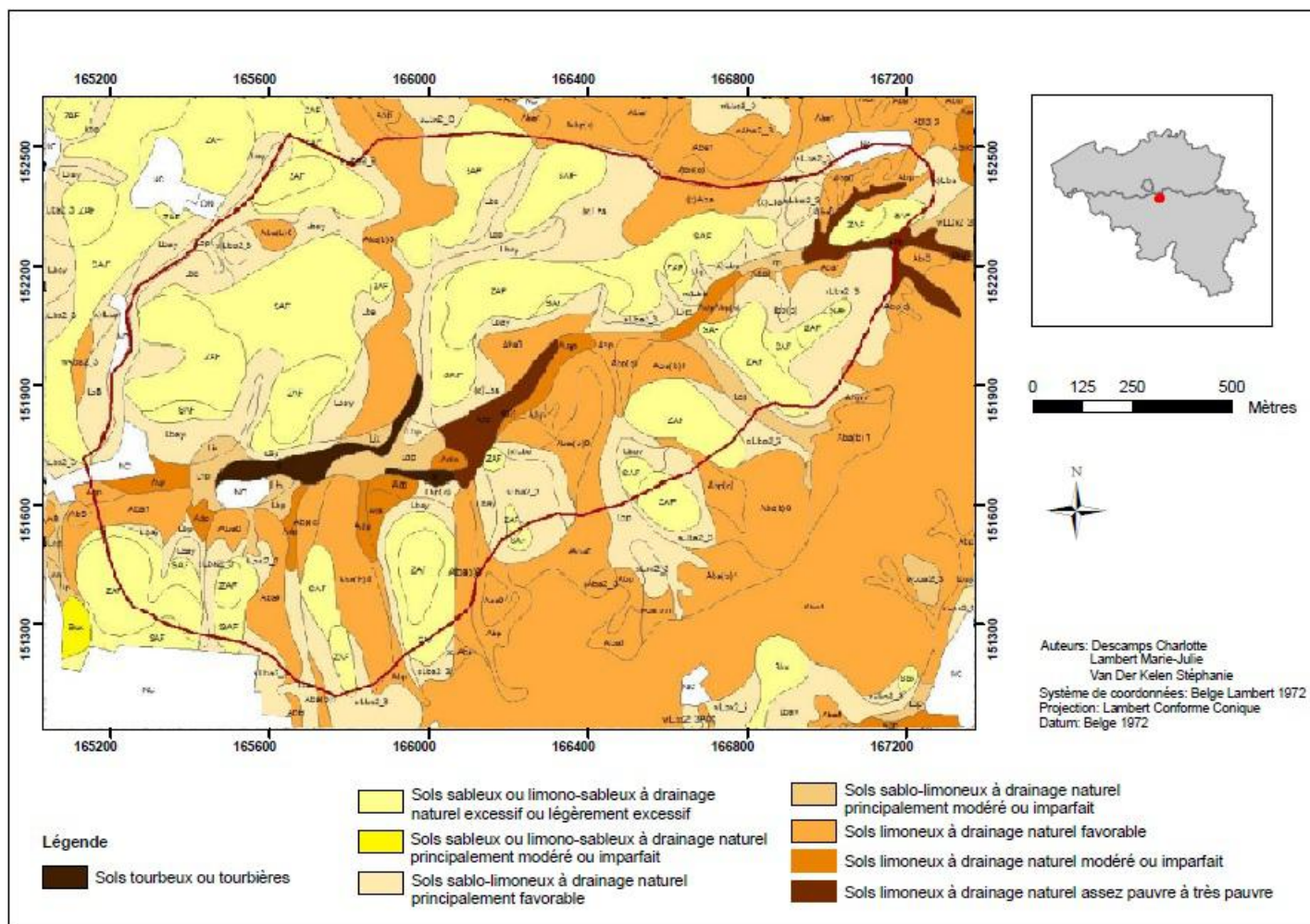


FIGURE B.1 – Carte pédologique du bois de Lauzelle.

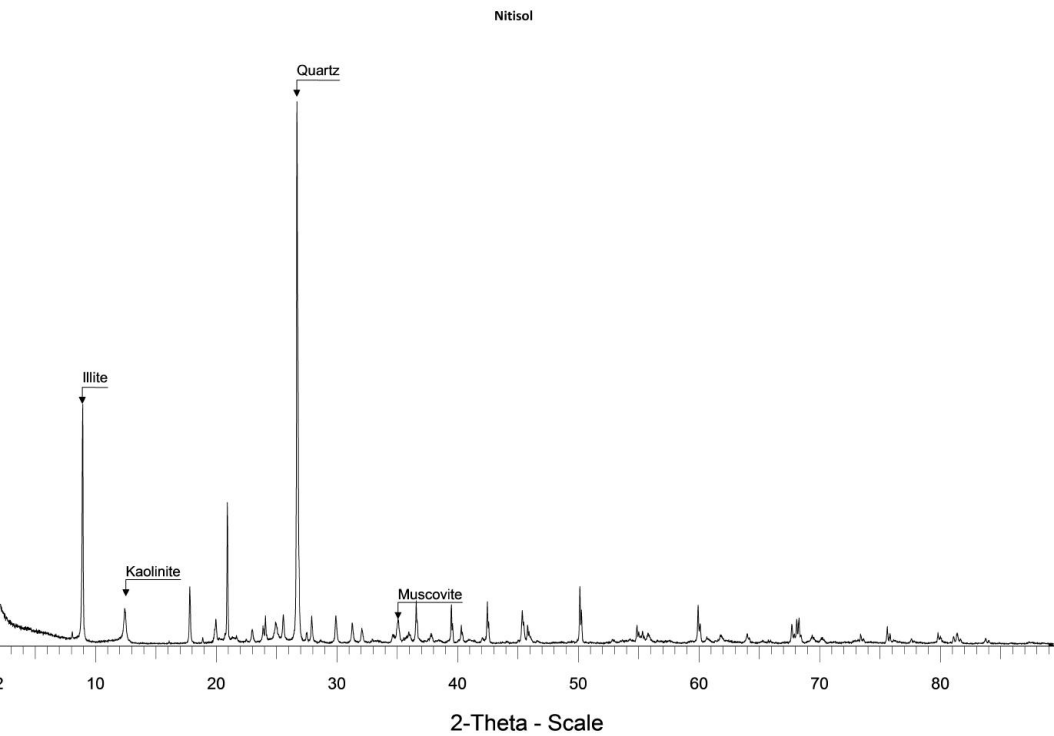
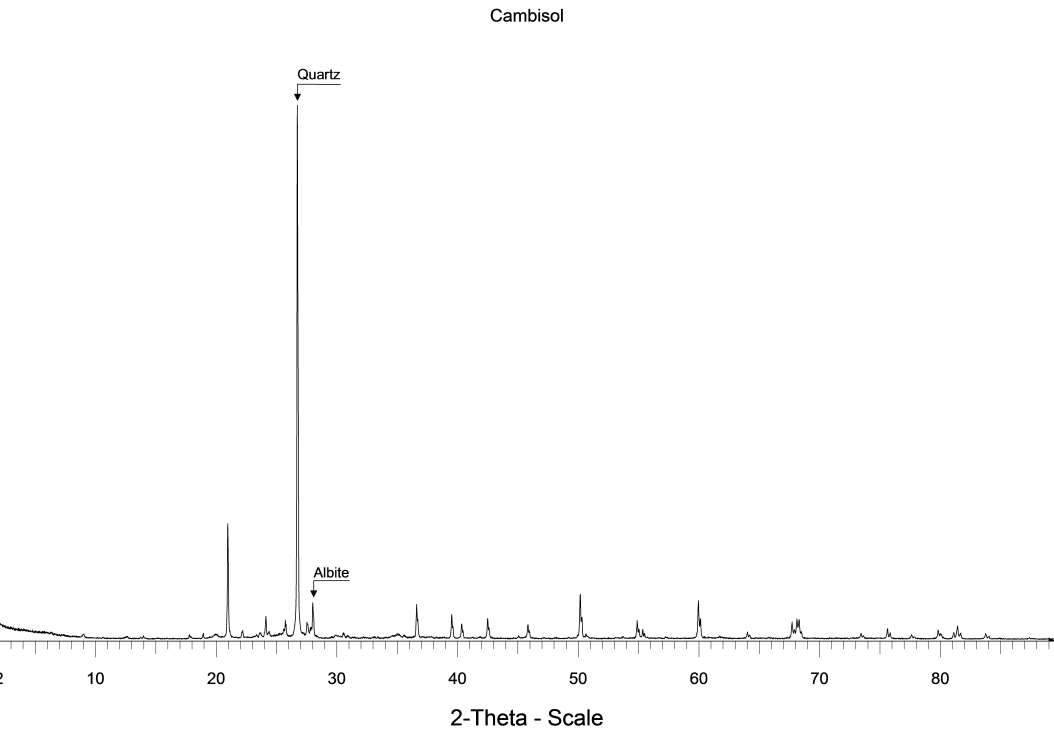
B.3 Plan des pots dans le phytotron

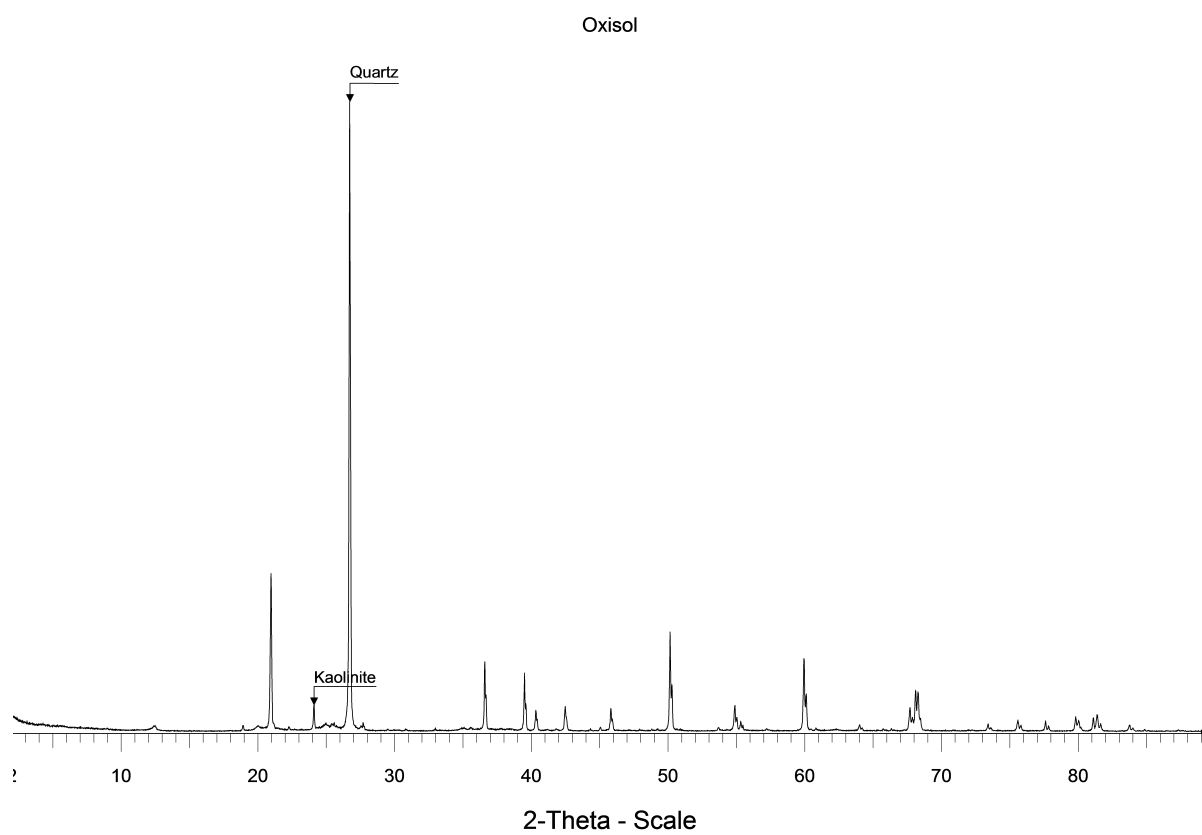
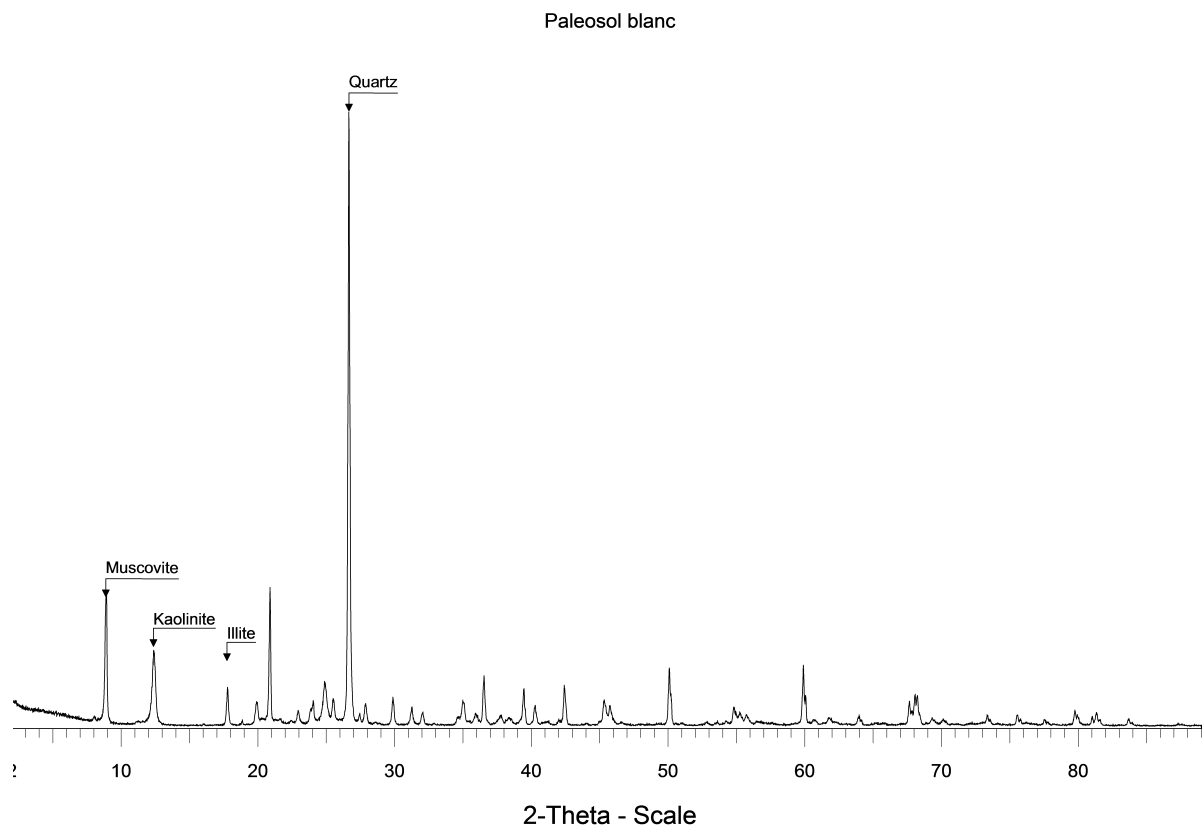


FIGURE B.2 – Schémas de la disposition des pots dans le phytotron. Les 4 bords de l'image représentent approximativement les murs du phytotron. L'entrée du phytotron se situe au centre-en bas de l'image ; les disperseurs d'eau sont au nombre de deux, en hauteur sur le mur droit (droite de l'image) ; le ventilateur est au centre de la pièce et de l'image.

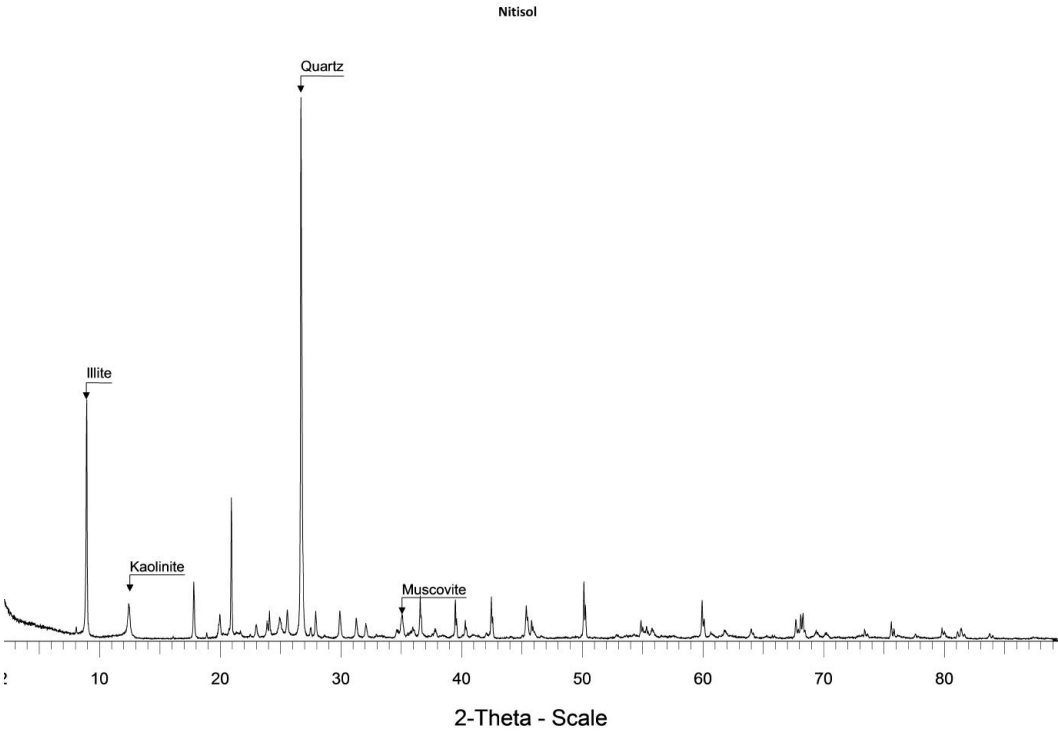
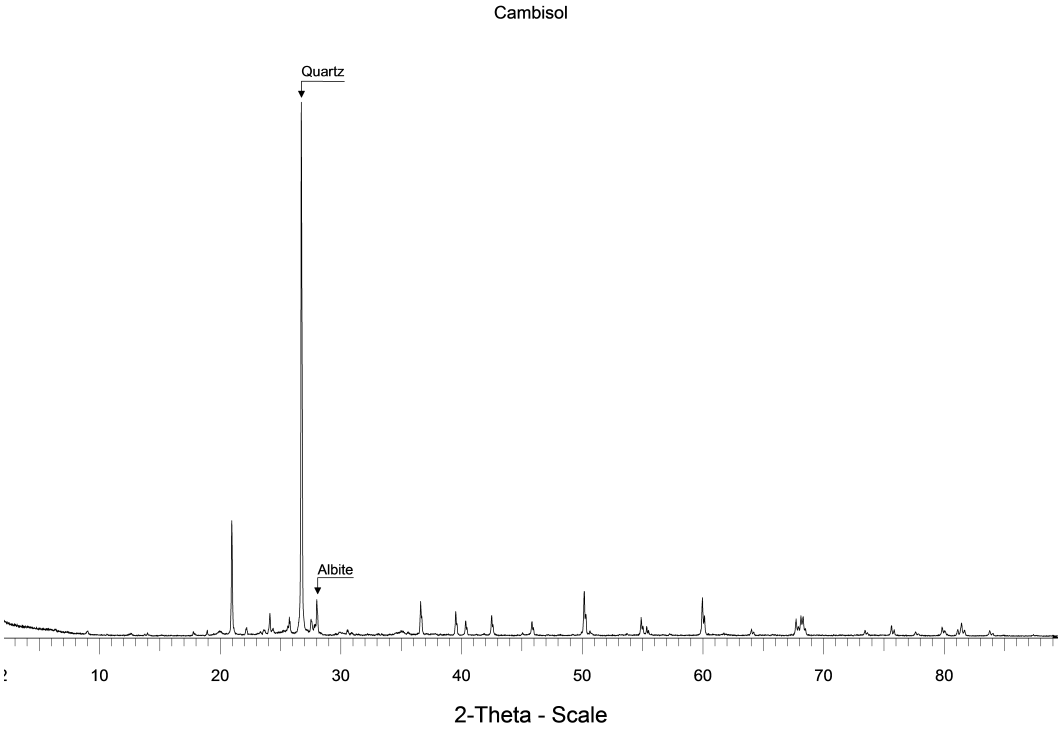
B.4 DRX

B.4.1 Sol brut

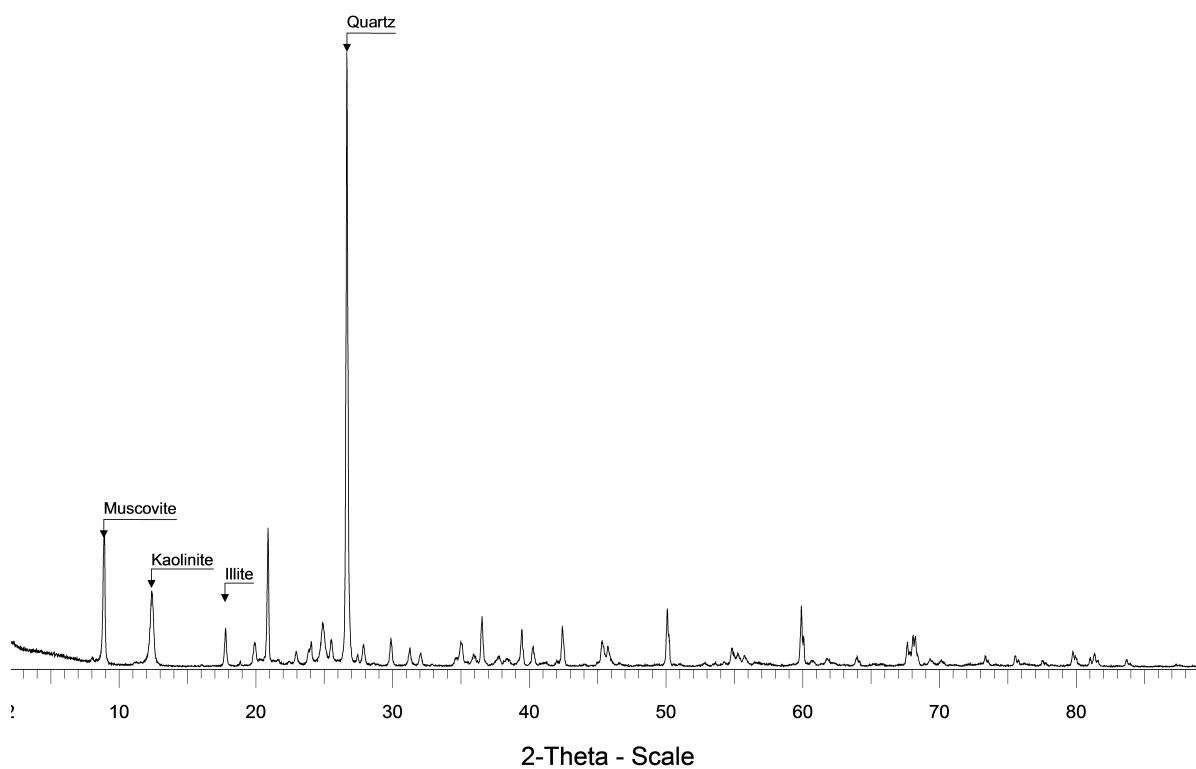




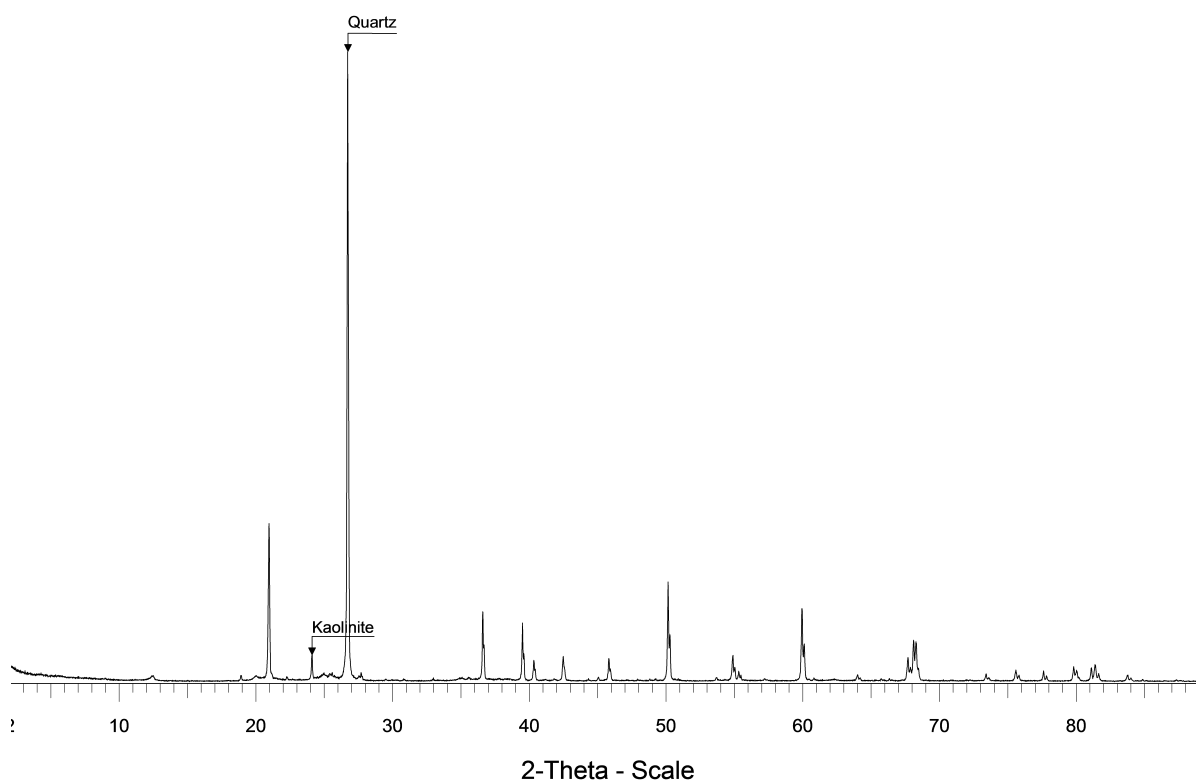
B.4.2 Minéraux argileux



Paleosol blanc



Oxisol



Annexe C

Annexes juridiques

C.1 Cadre réglementaire du secteur coton au Burkina Faso

Le cadre réglementaire du secteur coton est constitué par les principales mesures suivantes (SOFITEX, 2015) :

- L'arrêté n°98-00013/AGRI/SG/DPLCLR du 17 juin 1998 portant agrément de l'Union Nationale des Producteurs de Coton du Burkina (UNPCB).
- L'Accord interprofessionnel signé le 22 février 1999 entre la SOFITEX et les producteurs de coton qui instaure la gestion paritaire de la filière coton.
- Le décret n° 98-267/PRES/PM/MEF du 24 juin 1998, qui autorise l'ouverture partielle du capital de la SOFITEX aux groupements de producteurs de coton à hauteur de 30%.
- L'arrêté n°99-021/MCIA/MEF/MAGRI du 26 mars 1999 qui fixe les modalités de cession des actions SOFITEX par l'État, aux groupements de producteurs de coton.
- La loi n° 14/99/AN du 15 avril 1999 portant réglementation des Sociétés coopératives et Groupements au Burkina Faso.
- Le décret n° 2001-763/PRES/PM/MCPEA/MEF/AGRI du 31 décembre 2001 portant modificatif du décret n°79/248/PRES/DR du 20 juin 1979 et son modificatif.
- Le décret n° 2001-764/PRES/PM/MCPEA/MEF/AGRI du 31 décembre 2001 portant autorisation d'installation d'opérateurs dans les nouvelles régions cotonnières et son modificatif.
- L'arrêté n° 98-071/MCIA/MA/MEF du 25 novembre 1998 portant approbation de l'accord interprofessionnel de la filière coton.

Cet accord interprofessionnel est relatif à la mise en place et à l'organisation d'une gestion paritaire de la filière. Il est en vigueur depuis le 25/11/1998, annule toutes les dispositions antérieures contraires, notamment celles du contrat plan Etat / SOFITEX.

L'objet de cet accord est de confier à la SOFITEX et aux producteurs de coton, la gestion paritaire des mécanismes de fixation des prix d'achat du coton graine et du prix de cession des intrants.

La gestion paritaire de la filière inclut :

- la vérification et l'annonce du prix de cession des intrants agricoles déterminé par la SOFITEX
- la fixation des prix d'achat de base du coton graine ;
- la détermination et l'annonce du Prix d' Achat Complémentaire du coton graine (PAC), confor-

- mément aux mécanismes prévus ;
- la gestion du Fonds de Soutien du prix d'achat de base ;
 - l'approbation du programme de recherche coton et de son budget ;
 - l'approbation du programme annuel d'entretien des pistes des zones de production de collecte du coton graine et de son budget.

C.2 Droit de l'OHADA relatif aux succursales

Acte Uniforme Relatif Au Droit des Sociétés Commerciales et du Groupement d'Intérêt Économique

Partie 1 – Dispositions générales sur la société commerciale

Livre 1 – Constitution de la société commerciale

Titre 5 – Immatriculation - Personnalité juridique

CHAPITRE 4 : Succursales

Art. 116. La succursale est un établissement commercial ou industriel ou de prestations de services, appartenant à une société ou à une personne physique et doté d'une certaine autonomie de gestion.

Art. 117. La succursale n'a pas de personnalité juridique autonome, distincte de celle de la société ou de la personne physique propriétaire.

Les droits et obligations qui naissent à l'occasion de son activité ou qui résultent de son existence sont compris dans le patrimoine de la société ou de la personne physique propriétaire.

Art. 118. La succursale peut être l'établissement d'une société ou d'une personne physique étrangère. Sous réserve de conventions internationales ou de dispositions législatives contraires, elle est soumise au droit de l'État partie dans lequel elle est située.

Art. 119. La succursale est immatriculée au registre du commerce et du crédit mobilier conformément aux dispositions organisant ce registre.

Art. 120. Quand elle appartient à une personne étrangère, la succursale doit être apportée à une société de droit, préexistante ou à créer, de l'un des États parties, deux ans au plus tard après sa création, à moins qu'elle soit dispensée de cette obligation par un arrêté du ministre chargé du commerce de l'État partie dans lequel la succursale est située.

Art. 891-2. Encourent une sanction pénale, les dirigeants sociaux d'une société étrangère ou la personne physique étrangère dont la succursale, au delà d'une durée de deux (2) ans, n'a été ni apportée à une société de droit préexistante ou à créer de l'un des États parties ni radiée dans les conditions fixées par l'article 120 ci-dessus.

C.3 Droit belge relatif aux SCRL

LIVRE VII. - La société coopérative.

TITRE I. - Dispositions communes à toutes les sociétés coopératives.

CHAPITRE I. - Nature et qualification.

Art. 350. La société coopérative est celle qui se compose d'associés dont le nombre et les apports sont variables.

Art. 351. Par dérogation à l'article 1er, la société coopérative doit être constituée par au moins trois personnes.

Art. 352. Les statuts doivent préciser si la responsabilité des associés de la société coopérative est limitée ou illimitée.

Lorsque la société coopérative a opté pour la responsabilité illimitée, les associés répondent personnellement et solidairement des dettes sociales et elle porte le nom de société coopérative à responsabilité illimitée ; lorsqu'elle a opté pour la responsabilité limitée, les associés ne sont passibles des dettes sociales que jusqu'à concurrence de leurs apports et elle porte le nom de société coopérative à responsabilité limitée.

Art. 353. Les statuts ne font aucune distinction entre les associés du point de vue de leur responsabilité.

CHAPITRE II. - Constitution.

Section I. - Intégralité de la souscription.

Art. 354. La société ne peut, pour ce qui concerne la part fixe du capital, souscrire ses propres parts ni directement, ni par une société filiale, ni par une personne agissant en son nom propre mais pour compte de la société ou de la société filiale.

La personne qui a souscrit en son nom propre mais pour le compte de la société ou de la société filiale est considérée comme ayant souscrit pour son propre compte.

Tous les droits afférents aux parts souscrites par la société ou sa filiale sont suspendus, tant que ces parts n'ont pas été aliénées.

Section II. - Mentions de l'acte de société.

Art. 355. L'acte constitutif mentionne, outre les indications contenues dans l'extrait destiné à publication :

1° la désignation des apports ;

2° les conditions d'admission, de démission et d'exclusion des associés et les conditions de retrait de versement ;

3° les règles qui déterminent le nombre et le mode de désignation des membres des organes chargés de l'administration, de la représentation à l'égard des tiers, du contrôle de la société, ainsi que la

répartition des compétences entre ces organes et la durée de leur mandat ;

4° les droits des associés ;

5° le mode de convocation de l'assemblée générale, la majorité requise pour la validité des délibérations, le mode de vote ;

6° la répartition des bénéfices et des pertes.

Les procurations doivent reproduire les énonciations prévues par l'article 69, 1°, 2°, 4°, 5° et 11°, et par le 1° du présent article.

CHAPITRE III. - Des titres et de leur transfert.

Section I. - Dispositions générales.

Art. 356. Les parts d'une société coopérative sont nominatives. Elles portent un numéro d'ordre. En dehors de ces parts représentant les apports, il ne peut être créé aucune autre espèce de titres qui représentent des droits sociaux ou qui donnent droit à une part des bénéfices.

L'émission des obligations et les droits qui y sont attachés sont réglés par les statuts.

Art. 357. § 1er. Il est tenu au siège social de la société coopérative un registre des parts, que chaque associé peut consulter.

§ 2. Le registre des parts contient :

1° les nom, prénoms et domicile de chaque associé ;

2° le nombre de parts dont chaque associé est titulaire ainsi que les souscriptions de parts nouvelles et les remboursements de parts, avec leur date ;

3° les transferts de parts, avec leur date ;

4° la date d'admission, de démission ou d'exclusion de chaque associé ;

5° le montant des versements effectués ;

6° le montant des sommes retirées en cas de démission, de retrait partiel de parts et de retrait de versements.

§ 3. L'organe de gestion est chargé des inscriptions. Les inscriptions s'effectuent sur la base de documents probants qui sont datés et signés. Elles s'effectuent dans l'ordre de leur date.

En ce qui concerne les inscriptions dans le registre des parts nominatives d'une société coopérative à responsabilité illimitée, la signature dont il est question à l'alinéa 1er n'engage son auteur qu'à la condition qu'elle soit précédée de la mention manuscrite " Bon pour engagement illimité et solidaire ".

Art. 358. L'organe de gestion pourra décider de scinder le registre des parts en deux parties, dont l'une est conservée au siège de la société et l'autre en dehors du siège, en Belgique ou à l'étranger.

Une copie de chacun des tomes sera conservée à l'endroit où est déposée l'autre partie ; à cette fin, il sera fait usage de photocopies.

Cette copie sera régulièrement tenue à jour et, si cela s'avérait impossible, elle sera complétée aussitôt que les circonstances le permettront.

Les porteurs des parts ont le droit de les faire inscrire dans un des deux volumes du registre à leur choix. Ils pourront prendre connaissance des deux parties du registre et de leur copie.

L'organe de gestion fait connaître l'endroit où est déposé le second volume du registre, par une publication aux Annexes du Moniteur belge. Cet endroit peut être modifié par simple décision de l'organe de gestion.

La décision de l'organe de gestion portant scission du registre des parts nominatives en deux parties ne peut être modifiée que par une décision de l'assemblée générale dans les formes prescrites pour la modification des statuts.

Art. 359. La propriété des parts s'établit par une inscription dans le registre des parts.

Des certificats constatant ces inscriptions seront délivrés aux titulaires de parts.

Art. 360. S'il y a plusieurs propriétaires d'une part, la société a le droit de suspendre l'exercice des droits y afférents jusqu'à ce qu'une seule personne ait été désignée comme étant à son égard propriétaire de la part.

Art. 361. Les créanciers personnels de l'associé ne peuvent saisir que les intérêts et dividendes lui revenant et la part qui lui sera attribuée à la dissolution de la société.

Section II. - Transfert de parts.

Art. 362. Les parts sont librement cessibles à des associés, le cas échéant dans les conditions prévues par les statuts.

Art. 363. Les parts d'une société coopérative à responsabilité illimitée et solidaire représentant les apports en nature ne peuvent cependant être cédées que dix jours après le dépôt des deuxièmes comptes annuels qui suivent leur création. Mention de leur nature, de la date de leur création et de leur incessibilité temporaire sera faite sur les certificats et au registre des parts.

Art. 364. Les parts d'une société coopérative ne peuvent être transférées à des tiers qu'aux personnes et dans les conditions prévues par l'article 366.

Art. 365. La cession et la transmission des parts ne sont opposables à la société et aux tiers qu'à partir du moment où la déclaration de transfert est inscrite sur le registre des parts.

CHAPITRE IV. - Des changements dans la composition de la société et du fonds social.

Section I. - Changements dans la composition de la société.

Art. 366. Les tiers ne peuvent être admis dans la société que si :

- 1° ils sont nominalement désignés dans les statuts ;
- 2° ils font partie de catégories que les statuts déterminent et ils remplissent les conditions requises par la loi ou les statuts pour être associé ; en ce cas, l'agrément de l'assemblée générale est requis, à moins que les statuts n'aient confié cette compétence à un autre organe.

Art. 367. Sauf disposition statutaire contraire, les associés ont le droit de démissionner ou de

retirer une partie de leurs parts. Ce droit ne peut être exercé que dans les six premiers mois de l'année sociale.

Art. 368. L'admission des associés et, sauf dans le cas visé à l'article 369, alinéa 2, leur démission n'ont d'effet qu'à partir de leur inscription dans le registre des parts conformément à l'article 357.

Art. 369. La démission est inscrite dans le registre des parts en marge du nom de l'associé démissionnaire par l'organe de gestion.

Si l'organe de gestion refuse de constater la démission, elle est reçue au greffe de la justice de paix du siège social. Le greffier en dresse procès-verbal et en donne connaissance à la société par lettre recommandée, envoyée dans les vingt-quatre heures. Le cas échéant, la démission a effet à partir du jour suivant l'envoi de la lettre recommandée.

Art. 370. § 1er. Tout associé peut être exclu pour justes motifs ou pour toute autre cause indiquée dans les statuts.

L'exclusion est prononcée par l'assemblée générale à moins que les statuts attribuent ce pouvoir à un autre organe.

L'associé dont l'exclusion est demandée doit être invité à faire connaître ses observations par écrit devant l'organe chargé de se prononcer, dans le mois, de l'envoi d'un pli recommandé contenant la proposition motivée d'exclusion.

S'il le demande dans l'écrit contenant ses observations, l'associé doit être entendu.

Toute décision d'exclusion est motivée.

§ 2. La décision d'exclusion est constatée dans un procès-verbal dressé et signé par l'organe de gestion. Ce procès-verbal mentionne les faits sur lesquels l'exclusion est fondée. Il est fait mention de l'exclusion sur le registre des parts. Une copie conforme de la décision est adressée par lettre recommandée dans les quinze jours à l'associé exclu.

§ 3. Les statuts ne peuvent faire obstacle à l'application du présent article.

Art. 371. Tout associé démissionnaire, exclu ou qui a retiré une partie de ses parts, reste personnellement tenu dans les limites où il s'est engagé, pendant cinq ans à partir de ces faits, sauf le cas de prescription plus courte établie par la loi, de tous les engagements contractés avant la fin de l'année dans laquelle son exclusion, sa démission ou le retrait partiel de ses parts a eu lieu.

Art. 372. Une copie des mentions les concernant, figurant au registre des parts, est délivrée aux associés qui en font la demande, selon le mode défini par les statuts. Ces copies ne peuvent servir de preuve à l'encontre des mentions portées au registre des parts.

Art. 373. L'organe de gestion d'une société coopérative dont les associés sont responsables de manière illimitée devra déposer tous les six mois, au greffe du tribunal de commerce, une liste indiquant par ordre alphabétique les nom, profession et domicile de tous les associés, datée et certifiée véritable par les signataires.

Toute personne peut prendre gratuitement connaissance des listes des associés et en obtenir copie moyennant paiement des frais de greffe.

L'organe de gestion sera responsable de toute fausse énonciation dans lesdites listes.

Section II. - Remboursement des parts.

Art. 374. Tout associé démissionnaire, exclu ou qui a retiré une partie de ses parts, a droit à recevoir la valeur de ses parts telle qu'elle résultera du bilan de l'année sociale pendant laquelle ces faits ont eu lieu.

Art. 375. En cas de décès, de faillite, de déconfiture ou d'interdiction d'un associé, ses héritiers, créanciers ou représentants, recouvrent la valeur de ses parts de la manière déterminée par l'article 374.

Art. 376. Les associés démissionnaires ou exclus ou, en cas de décès, de faillite, de déconfiture ou d'interdiction d'un associé, ses héritiers, créanciers ou représentants ne peuvent provoquer la dissolution de la société.

Section III. - Changements dans la libération du capital.

Art. 377. Sauf disposition statutaire contraire, le cas échéant en respectant les dispositions des articles 397 et 398 relatives au montant minimum du capital à libérer, chaque associé a le droit de retirer les montants qu'il a libérés, si l'assemblée générale ou un autre organe habilité par les statuts, l'y autorise. Ce retrait ne le dispense pas de son obligation de faire apport.

CHAPITRE V. - Organes et contrôle.

Section I. - Gestion.

Art. 378. En cas de silence des statuts, la société coopérative est administrée par un administrateur, associé ou non, nommé par l'assemblée générale.

Art. 379. Dans les huit jours de leur nomination ou de la cessation de fonctions des administrateurs, un extrait de l'acte constatant leur pouvoir ou la cessation de fonctions et portant leur signature doit être déposé au greffe du tribunal de commerce.

Toute personne peut prendre gratuitement connaissance de ces actes et en obtenir copie moyennant paiement des frais de greffe.

Art. 380. Les administrateurs sont responsables, conformément au droit commun, de l'exécution du mandat qu'ils ont reçu et des fautes commises dans leur administration.

Art. 403. La nullité d'une société coopérative à responsabilité limitée ne peut être prononcée que dans les cas suivants :

1° si l'acte constitutif n'est pas établi en la forme requise ;

2° si cet acte ne contient aucune indication au sujet de la forme de la société, de sa dénomination sociale, de son siège, de son objet social, des apports, du montant de la part fixe de son capital et de l'identité des associés ;

3° si l'objet social est illicite ou contraire à l'ordre public ;

4° si le nombre d'associés valablement engagés [...] est inférieur à trois.

C.4 Droit belge relatif au statut "à finalité sociale"

LIVRE X. - Les sociétés à finalité sociale.

CHAPITRE I. - Nature et qualification.

Art. 661. Les sociétés dotées de la personnalité juridique énumérées à l'article 2, § 2, [à l'exception des sociétés européennes] [et des sociétés coopératives européennes,] sont appelées sociétés à finalité sociale lorsqu'elles ne sont pas vouées à l'enrichissement de leurs associés et lorsque leurs statuts :

1° stipulent que les associés ne recherchent qu'un bénéfice patrimonial limité ou aucun bénéfice patrimonial ;

2° définissent de façon précise le but social auquel sont consacrées les activités visées dans leur objet social et n'assignent pas pour but principal à la société de procurer aux associés un bénéfice patrimonial indirect ;

3° définissent la politique d'affectation des profits conforme aux finalités internes et externes de la société, conformément à la hiérarchie établie dans les statuts de ladite société, et la politique de constitution de réserves ;

4° stipulent que nul ne peut prendre part au vote à l'assemblée générale pour un nombre de voix dépassant le dixième des voix attachées aux parts ou actions représentées ; ce pourcentage est porté au vingtième lorsqu'un ou plusieurs associés ont la qualité de membre du personnel engagé par la société ;

5° stipulent, lorsque la société procure aux associés un bénéfice patrimonial direct limité, que le bénéfice distribué à ceux-ci ne peut dépasser le taux d'intérêt fixé par le Roi en exécution de la loi du 20 juillet 1955 portant institution d'un Conseil national de la coopération, appliqué au montant effectivement libéré des parts ou actions ;

6° prévoient que, chaque année, les administrateurs ou gérants feront rapport spécial sur la manière dont la société a veillé à réaliser le but qu'elle s'est fixé conformément au 2° ; ce rapport établira notamment que les dépenses relatives aux investissements, aux frais de fonctionnement et aux rémunérations sont conçues de façon à privilégier la réalisation du but social de la société ;

7° prévoient les modalités permettant à chaque membre du personnel d'acquérir, au plus tard un an après son engagement par la société, la qualité d'associé ; cette disposition ne s'applique pas aux membres du personnel qui ne jouissent pas de la pleine capacité civile ;

8° prévoient les modalités permettant que le membre du personnel qui cesse d'être dans les liens d'un contrat de travail avec la société perde, un an au plus tard après la fin de ce lien contractuel, la qualité d'associé ;

9° stipulent qu'après l'apurement de tout le passif et le remboursement de leur mise aux associés, le surplus de liquidation recevra une affectation qui se rapproche le plus possible du but social de la société.

Le rapport spécial visé au 6° sera intégré au rapport de gestion devant être établi conformément aux articles 95 et 96.

Art. 662. Les sociétés visées à l'article 661 qui adoptent de telles dispositions statutaires doivent ajouter à toute mention de leur forme juridique les mots " à finalité sociale ". C'est ainsi complétée que la forme de la société doit être mentionnée dans les extraits publiés conformément aux articles 68 et 69.

Art. 663. Si une société ne respecte plus les dispositions visées à l'article 661, les réserves existantes ne peuvent, sous quelque forme que ce soit, faire l'objet d'une distribution. L'acte de modification des statuts doit déterminer leur affectation en se rapprochant le plus possible du but social qu'avait la société ; il doit être procédé à cette affectation sans délai.

à défaut, le tribunal condamne solidairement, à la requête d'un associé, d'un tiers intéressé ou du ministère public, les administrateurs ou gérants au paiement des sommes distribuées ou à la réparation de toutes les conséquences provenant d'un non-respect des exigences prévues ci-dessus à propos de l'affectation desdites réserves.

Les personnes visées à l'alinéa 2 peuvent aussi agir contre les bénéficiaires si elles prouvent que ceux-ci connaissaient l'irrégularité des distributions effectuées en leur faveur ou ne pouvaient l'ignorer compte tenu des circonstances.

Art. 664. Sans préjudice des dispositions du présent livre, les sociétés à finalité sociale sont régies par les dispositions applicables à la forme de société choisie.

CHAPITRE II. - Règles particulières au capital d'une société à finalité sociale.

Art. 665. § 1er. Lorsqu'une société à finalité sociale prend la forme d'une société coopérative à responsabilité limitée le montant de la part fixe du capital social est au moins égal à [[6 150 EUR]]. Ce montant doit être intégralement souscrit. Il doit être libéré à concurrence de [[2 500 EUR]] à la constitution de la société, et intégralement libéré après deux ans.

§ 2. Les fondateurs sont solidairement tenus envers les intéressés de toute la part fixe du capital qui ne serait pas valablement souscrite ainsi que de la différence éventuelle entre, d'une part, les montants visés aux alinéas 1er et 3 et, d'autre part, le montant des souscriptions ; ils sont de plein droit réputés souscripteurs.

Art. 666. Lorsque l'actif net de la société visée à l'article 665 est réduit à un montant inférieur à [2 500 EUR], tout intéressé peut demander au tribunal la dissolution de la société. Le tribunal peut, le cas échéant, accorder à la société un délai en vue de régulariser sa situation.

Art. 667. A la requête soit d'un associé, soit d'un tiers intéressé, soit du ministère public, le tribunal peut prononcer la dissolution :

1° d'une société qui se présente comme société à finalité sociale alors que ses statuts ne prévoient pas ou ne prévoient plus tout ou partie des dispositions visées à l'article 661 ;

2° d'une société à finalité sociale qui, dans sa pratique effective, contrevient aux dispositions statutaires qu'elle a adoptées conformément à l'article 661.

Annexe D

Annexes Gestion

D.1 Business Model Canvas

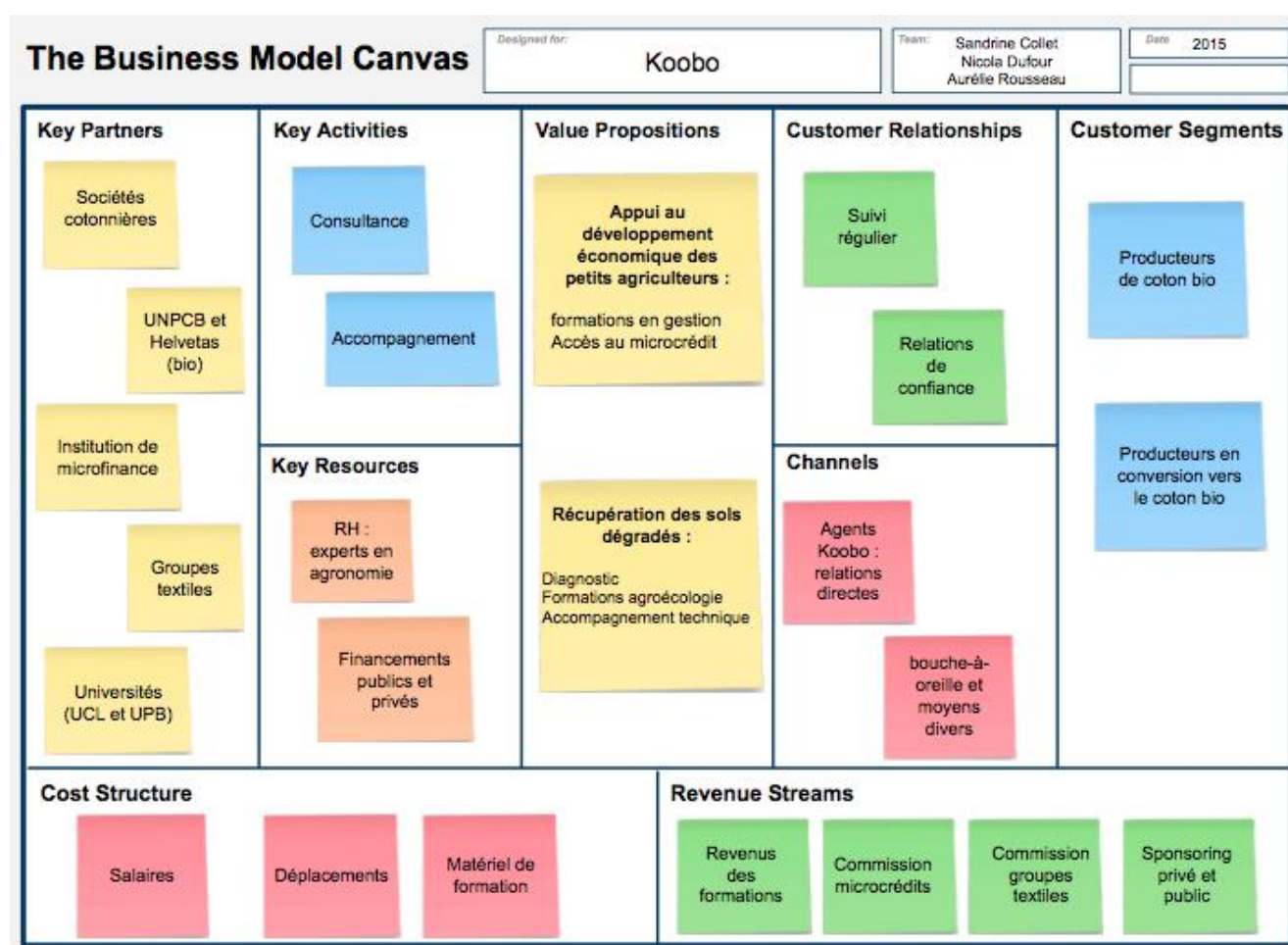


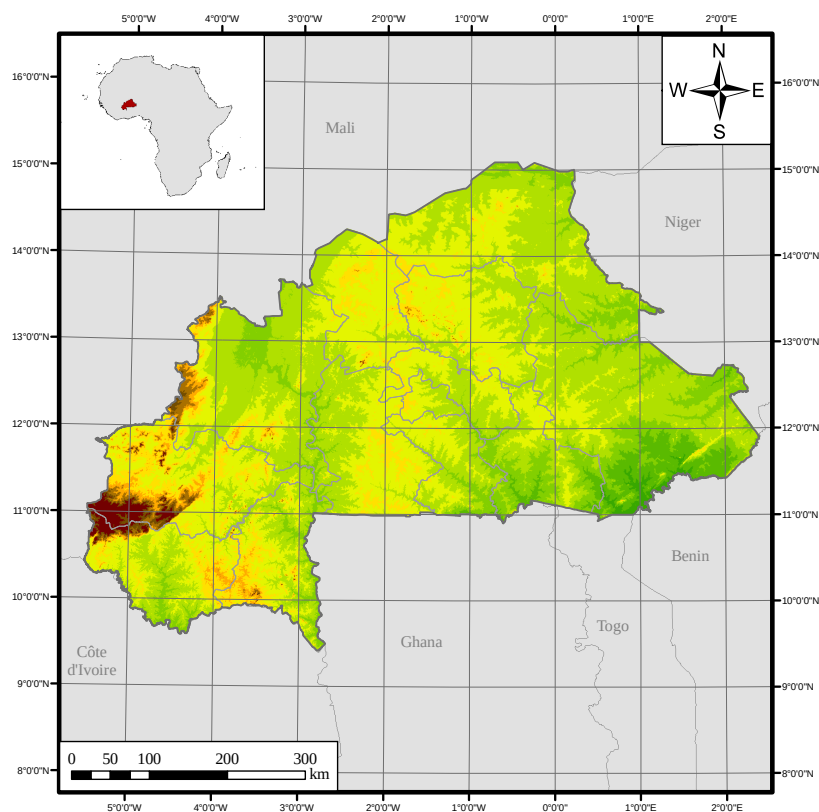
FIGURE D.1 – Schéma du Business Model Canvas de Koobo

D.3 Carte topographique du Burkina Faso



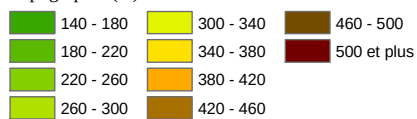
Carte de la topographie du Burkina Faso

UNIVERSITÉ DE MONCTON
EDMUNDSTON MONCTON SHIPAGAN
Chaire K.-C.-Irving en développement durable



Projection : Transverse Universelle de Mercator (UTM)
Datum : Adindan 1880

Topographie (m)



Mathieu Landry et Yves Gagnon
Chaire K.-C.-Irving en développement durable
Université de Moncton
Canada

Yacouba Ouedraogo et Abdoulaye Ouedraogo
Département de physique, UFR-SEA
Université de Ouagadougou
Burkina Faso

Novembre 2011

La présente carte décrit la topographie du Burkina Faso avec une résolution de 90 m. Créée par l'Université de Moncton (Canada) et l'Université de Ouagadougou (Burkina Faso), cette carte est basée sur les données d'élévation venant du Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) de la National Aeronautics and Space Administration (NASA). Les auteurs se déchargent de toute responsabilité quant à l'utilisation de cette carte.



D.4 Les 5 grands fondamentaux des agroécosystèmes

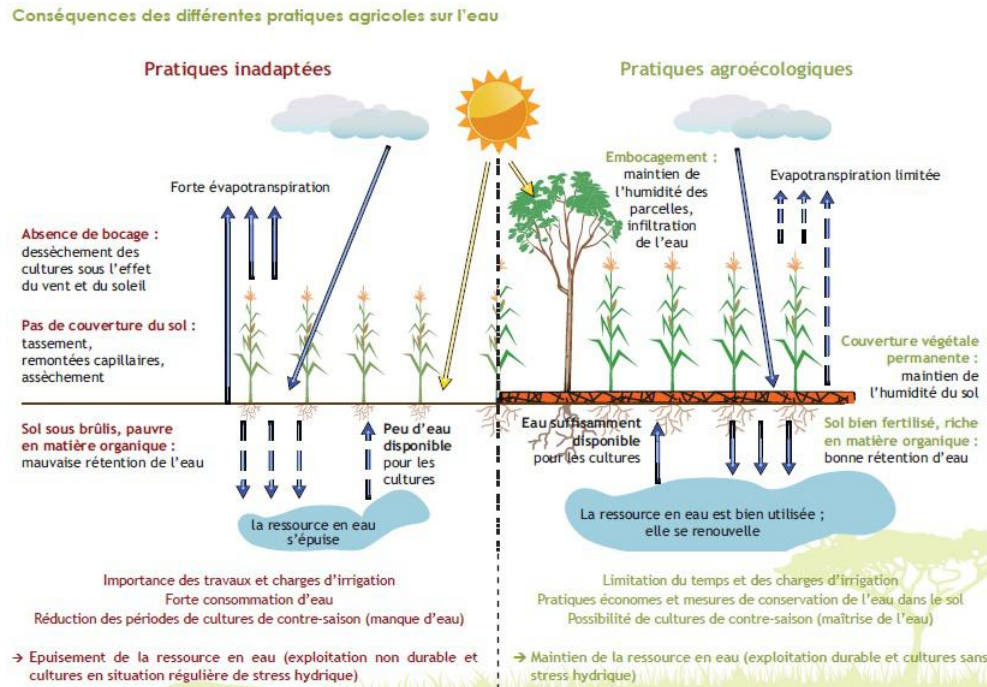


FIGURE D.3 – Cycles et comparaison des milieux selon un des fondamentaux des agroécosystèmes : l'eau (Source : Agrisud, 2010).

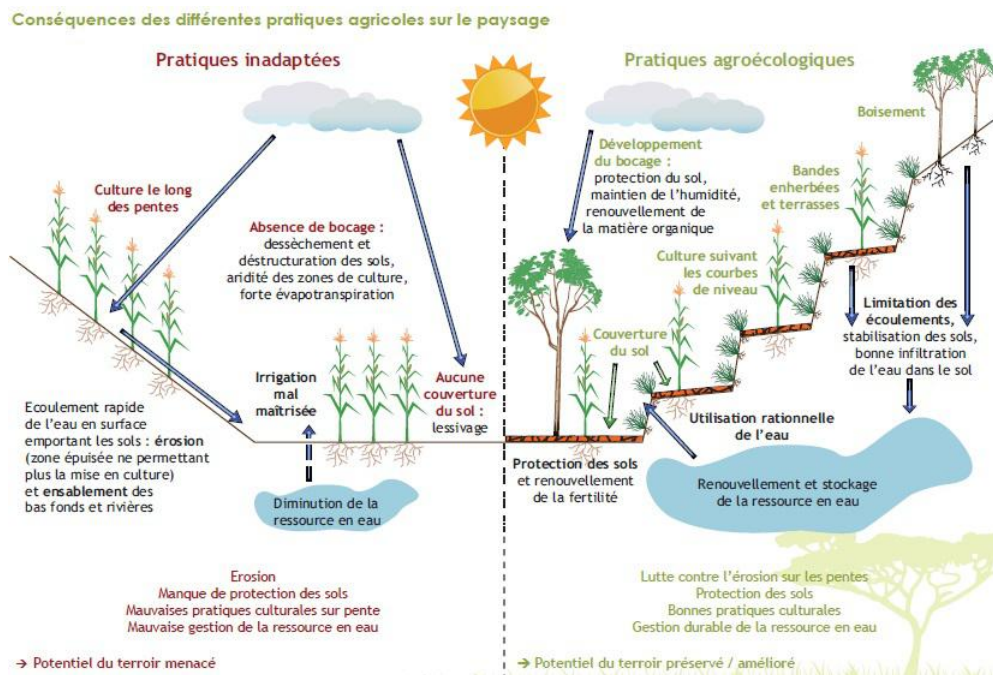


FIGURE D.4 – Cycles et comparaison des milieux selon un des fondamentaux des agroécosystèmes : le paysage (Source : Agrisud, 2010).

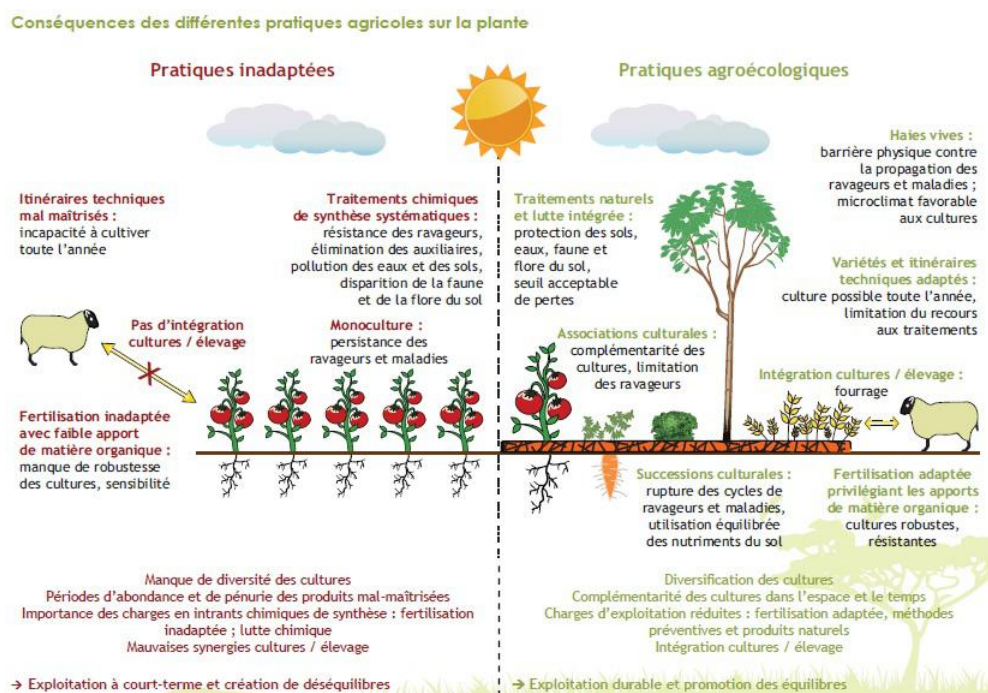


FIGURE D.5 – Cycles et comparaison des milieux selon un des fondamentaux des agroécosystèmes : la plante (Source : Agrisud, 2010).

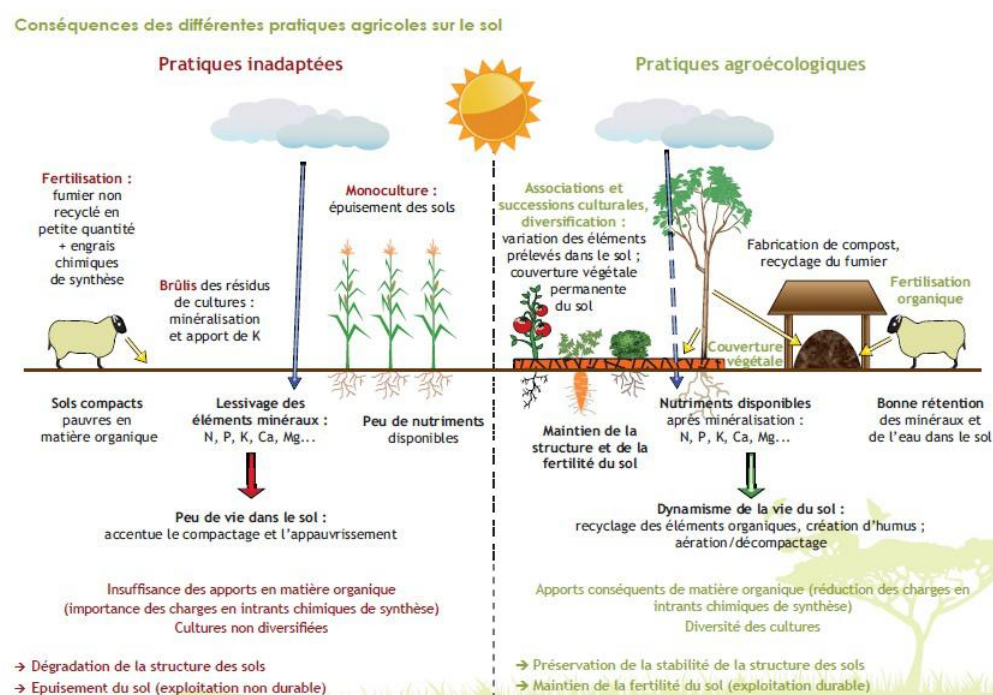


FIGURE D.6 – Cycles et comparaison des milieux selon un des fondamentaux des agroécosystèmes : le sol (Source : Agrisud, 2010).

D.5 Module Gestion

Les deux modules proposés à la suite ont été produits par les Nations-Unies (FAO) et sont libres de toute reproduction. Les deux méthodologies sont intéressantes, mais leur contenu devra faire l'objet de modification.

D.5.1 Module A

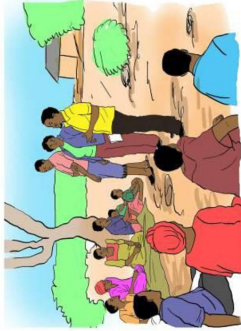
Le module A repose sur la méthodologie des "Farm Business School". Les cours sont donnés par un "facilitateur" à l'aide de manuel standardisé consultable sur <http://www.fao.org/docrep/014/i2136e/i2136e00.pdf>. Ce livre explique très concrètement comment les modules doivent être enseignés et les objectifs à atteindre au terme de chaque séance

Le module de cours est dispensé sur plusieurs heures réparties sur une période de plusieurs mois. Ensuite, les agriculteurs-élèves disposent du "handbook" téléchargeable sur <http://www.fao.org/docrep/014/i2137e/i2137e00.pdf>. Il s'agit d'un cahier d'exercices leur permettant d'appliquer les nouveaux savoirs à leur propre exploitation. Lorsque la matière est assimilée, eux aussi peuvent devenir "facilitateur" et ainsi, les connaissances entrepreneuriales et de gestion peuvent être propagées.

Dans le cadre de Koobo, nous recommandons d'utiliser cette méthodologie avec les responsables de groupements qui sont alphabétisés. Toutefois, ces modules sont conséquents et requièrent de nombreuses heures de travail. Il faut donc déterminer à l'avance à quel degré les producteurs sont prêts à s'engager dans la formation. En fonction de notre expérience sur le terrain et du faible taux d'alphabétisation, nous conseillons fortement l'utilisation de la méthodologie suivante.

D.5.2 Module B

Voir page suivante.



The designations employed and the presentation of material in this information product do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the United Nations Secretariat of Agriculture, Forestry and Fisheries, or of its legal or development units of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries. The mention of names, or of any product, does not imply that it has been endorsed or recommended by FAO in preference to others of a similar nature that are not mentioned.

The views expressed in this information product are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views or policies of FAO.

FAO encourages the use, reproduction and dissemination of material in this information product. Except where otherwise indicated, material may be copied, downloaded and printed for private study, research and teaching purposes, or for use in internal or external communications, without fee, provided that the copyright notice of FAO as the source and copyright holder is given and that FAO's endorsement of users' views, product or services is not implied in any way.

All requests for translation and adaptation rights, and for resale and other commercial use rights should be made via www.fao.org/contact-us/assistance or addressed to copyright@fao.org.

FAO information products are available on the FAO website (www.fao.org/publications) and can be purchased through publications-sales@fao.org.

Contents

Acknowledgements.....	3
Who is this "Farming as a Business" Story book for?.....	4
Intended target audiences of the "Farming as a Business" Story book.....	4
Guidance to facilitators.....	4
The story telling methodology.....	5
Introduction.....	5
The importance of story telling.....	5
Prepare the story.....	6
The role-playing methodology.....	7
Introduction.....	7
The importance of role-playing.....	7
Developing the role-play.....	8
The FAB discussion group methodology.....	8
Introduction.....	8
How farmers learn.....	9
Training method.....	9
FAB Key Messages.....	10
Planning meeting.....	10
The roles of a FAB discussion group.....	10
The role and responsibilities of the FAB discussion group facilitator.....	11
Methodologies to use.....	11
FAB story of Mr. JUBUDU and Mr. SIALI.....	12

Acknowledgements

Special thanks are owed to Mr. M. Winkmaier (Chief Technical Adviser, FAO Southern Highlands Food Systems Programme), Mr. J. Lewis (FAO consultant from Korongo Ltd) and Mr. D. Hitchcock (FAO Rural Infrastructure and Agro-Industries Division AGS), Lead Technical Officer, FAO Southern Highlands Food Systems Programme) for their detailed technical review of the publication. Thanks are owed to Mr. F. Tartamice (Senior Officer, FAO-AGS) for her technical review and for encouraging the publication of this storybook. A thank you also goes to Ms. L. D'Aquillo (Publishing Assistant, FAO-AGS) for organizing, coordinating and managing the publication process, Ms. N. Skow-Rasmussen (FAO, United Republic of Tanzania) for the editing, Ms. L. Hoole for the proof-reading, Ms. A. Smith (FAO-AGS) for copy editing and Mr. S. Morini (FAO-AGS) for layout.

The publication was possible thanks to the funding provided by the German government to the Southern Highlands Food Systems Programme.

The FAB story book was conceived and written by Mr. M. Hlmi (Enterprise Development Officer, FAO-AGS) and Mr. D. Nyanzi drew the pictures for the FAB story book.

In fond memory of David Kenneth Hitchcock.

The story telling methodology

Introduction

Everybody can tell a story. In all countries of the world over storytelling is one of the most powerful means of communication that exists. The FAB story book has been built around the concept of storytelling. The book provides story lines, FAB key messages and pictures. The storyteller (the facilitator) can make up a story using the story lines and importantly incorporate the FAB key messages. The story lines are arranged logically, which enable the storyteller to easily adopt and adapt the story to local contexts and the needs and necessities of farmers.

The importance of story telling

Stories are an integral part of most local cultures and local communities. Storytelling is a narrative form that captures the attention of the audience. It is a very effective way of communication among people and importantly conveys messages of particular interest.

Stories can be very persuasive and are the shortest way from ear to mind to heart. In other words they create emotions. Furthermore, stories can be an important tool to help and support learners. In this case farmers, to develop and integrate new ideas and skills in their local context – a very good form of knowledge sharing.

Farmers can listen to stories, but more important, they can interact directly with the storyteller and initiate discussions and ask questions about the story. Stories are content rich learning as many stories recount of local past and present experiences, provide for understanding and conveying of meaning. They can link different facts, related and

The story telling methodology

Introduction

Everybody can tell a story. In all countries of the world over storytelling is one of the most powerful means of communication that exists. The FAB story book has been built around the concept of storytelling. The book provides story lines, FAB key messages and pictures. The storyteller (the facilitator) can make up a story using the story lines and importantly incorporate the FAB key messages. The story lines are arranged logically, which enable the storyteller to easily adopt and adapt the story to local contexts and the needs and necessities of farmers.

The importance of story telling

Stories are an integral part of most local cultures and local communities. Storytelling is a narrative form that captures the attention of the audience. It is a very effective way of communication among people and importantly conveys messages of particular interest.

Stories can be very persuasive and are the shortest way from our mind to heart. In other words they create emotions. Furthermore, stories can be an important tool to help and support farmers. In this case farmers, to develop and integrate new ideas and skills in their local context – a very good form of knowledge sharing.

Farmers can listen to stories, but more important, they can interact directly with the storyteller and initiate discussions and ask questions about the story. Stories are content rich learning as many stories recount of local past and present experiences, provide for understanding and conveying of meaning. They can link different facts, related and

5

encountered problems along the way of attempting to farm as a business. It is crucial that the role-play is meaningful to the participants.

Learning with role-playing occurs through: 1) the steps in preparing the role-play; 2) the actual role-play and; 3) the discussions that take place after completing the role-play. This discussion will, for example, allow the participants to go over important points of the role-play and it is important that these discussions naturally lead into the FAB discussion group.

The importance of role-playing

Role-playing enables the FAB story to be associated with important local cultural factors related to farming and the community. The role-playing enables complex issues to be simplified in a short time period. In preparation and acting the play, the farmers have to collaborate, which creates a sense of group belonging and the development of empathy among farmers. This provides an important indication of how working together can be helpful in their daily lives. A role-play provides a good way to communicate not only among the farmer-actors, but also among the audience of farmers watching and listening to the role play. Hence, it is a means of both oral and visual communication that stimulates both the actors and the audience. A role play is a memorable experience related to emotions and fun, which can encourage farmers to remember the FAB key messages of the FAB story book. It increases the farmers' motivation to learn since they are involved in the story and need to act it out. It encourages self-esteem and builds confidence. Role-plays can induce farmers to reflect on what they have ob-

7

unrelated, and bring some kind of sense to them. By using real life experiences, stories become memorable and easy to put into practice. Overall, stories can foster changes in behaviour, habits and attitudes. Storytelling seems to be the most powerful way to put new ideas (FAB key messages) into practice.

Prepare the story

The FAB story book provides the storyteller (the facilitator) with all he or she needs to tell a story about two farming families. The key messages are incorporated in the storylines and are supported with pictures. While storytelling, the storyteller can show the pictures to the farmers to help them visualize the concepts.

We advise that the storyteller first assess the local context and farmers in preparation of the story, which will enable the storyteller to adapt the story appropriately.

Usually, preparing to tell the story follows these guidelines:

1. The storyteller sets the scene of where the story will occur. For example, the farmers Mr. Juhudi and Mr. Sijali are in their local village and community.
2. The storyteller introduces the main characters. For example, Mr. Juhudi and Mr. Sijali and their families as well as other local villagers are a part of the story.
3. The storyteller starts to recount the story. For example, Mr. Juhudi and Mr. Sijali are farming for money.
4. The storyteller starts to recount the difficulties. For example, Mr. Juhudi and Mr. Sijali have difficulties with farming for money.

6

served and relate it to their own situation. The more realistic scenario, the more farmers will relate and learn from it.

Role-playing also requires farmers to use numerous skills all in one: they need to communicate clearly and ensure that what they are saying is understood by farmers in the audience; and they sometimes need to play the role of somebody else, thus helping them better understand another person's perspective and position in life. Role-playing can provide for attitude and behaviour change in farmer-actors.

The role-play can be used by the facilitator as an assessment tool so that she can test if the farmer-actors have understood the key messages of the FAB story book.

Developing the role-play

Role-playing is especially important for people who are more used to learning-by-doing, then by learning from books. Once the farmers have listened to the story in the first meeting and discussed various questions or concerns that may have arisen, the storyteller should encourage the participants to conduct a role-play. Farmers should agree to this together and should be initially helped by the facilitator to organize themselves. It is important that the storyteller emphasize the FAB messages in the role-play.

The facilitator needs to describe: the purpose of the role-play to all farmer participants, what it involves, and what is needed for the role-play. Appointing the main character in the FAB story book has to be mutually agreed among the farmer participants with support from the facilitator. Other characters that are not in the FAB story book can also

8

5. The storyteller recounts how the characters overcome the difficulties. For example, how Mr. Juhudi overcame the difficulties by following FAB key messages.

6. The storyteller recounts how the characters did not overcome difficulties what consequences these had. For example, Mr. Sijali could not overcome the difficulties, which caused problems for him and his family.

7. The storyteller summarizes the important points of the story. For example, he recounts the experiences of Mr. Sijali and Mr. Juhudi with farming for money.

8. The storyteller provides a good ending. For example, Mr. Juhudi and other villagers find out that Mr. Sijali and his family are in difficulty and they all help him and his family.

9. The storyteller asks questions and leads the farmers in reflection. For example, why was Mr. Juhudi able to overcome the difficulties of farming for money?

Once the story has been prepared, a meeting should be organized between progressive farmers and farmers. This first meeting is an important step in conveying FAB key messages to progressive farmers and farmers.

During the meeting, the story should be told using the pictures provided. It is important that the story is read or told clearly, with emphasis and emotion to make it fun and enticing for the farmer participants. The facilitator may also act out some of the parts in the story, especially when emphasizing FAB key points.

be included in the role-play as this will enhance the context rich learning environment of the role-play. For example, characters representing villagers and extension workers may be added. It is important, though, that there are not too many characters in the role-play as this may cause confusion and be difficult to organize. The maximum number of main characters for the role-play is seven.

It is important to tell the farmer-actors that the role-play has no script. Farmer-actors need only to provide evidence that they have understood the FAB key messages of the FAB story book. Each farmer-actor needs to play a character and provide a FAB key message from the story book.

It is important to encourage farmers to be actors in the role-play because it will stimulate their creativity and encourage them to work together. Remember to allow the farmer-actors a little practice, about ten to fifteen minutes, before the role-play begins.

After finishing the role-play, the storyteller should facilitate a discussion to encourage farmers to talk about other important points about the role-play, analyses, ask questions, and thereby foster further reflection. This should naturally lead into the FAB discussion group.

The FAB discussion group methodology

Introduction

The FAB discussion group methodology has been used in the field and has proven to be very effective for adult learning. In simple terms, it is

a group of farmers who meet and are initially organized by a facilitator to discuss matters that are relevant to the FAB story book. The FAB discussion group is usually formed after preliminary meetings with progressive farmers and farmers, where storytelling and role-plays of the FAB story book took place. The FAB discussion group needs to meet regularly, for example once every two weeks for about three hours each time. The FAB discussion group can be composed of minimum seven to maximum of 15 farmers, because too small or too large groups may not be effective.

The purpose of FAB discussion meetings is to share and learn from each other's experiences after the storytelling and role-play sessions to discuss the FAB key messages. Participants sit in a circle so they can communicate easily with each other and discuss in an open and free manner with encouragement from the facilitator. It is important that farmers are part of the building process of a FAB discussion group and that once the first meeting has been held they are part of the planning process for the next meetings to come. Farmers need to be engaged in the planning of the next meeting and what will be discussed following the FAB Key messages in the FAB story book.

The number and duration of meetings will depend on local circumstances and the farmers' availability. In some meetings, for example, two to three FAB key messages can be discussed, while in others may be only one key message is discussed. The farmers should decide this.

It is important to rotate the facilitator role among farmers; every time the FAB discussion group meets, a new facilitator is elected by the participants.

participants. This will enable farmers to take turns in being a facilitator and thus gain experience in facilitating.

During the first meeting, the participants should decide on a set of rules for how the FAB discussion group should function. For example, there could be a rule about not allowing farmers who show up late to participate in the discussion group. All rules should be decided and agreed upon by the participants potentially through voting.

How farmers learn

Adult learning is very different from that of child learning. In many cases farmers do not want to learn or do not have time to learn due to their work. There is no obligation for farmers to learn. However, if farmers understand how the FAB discussion groups can be beneficial for them as well as helpful and supportive in their daily lives, they may be more disposed to participate in the FAB discussion group. We have noted that when discussions relate directly to farmers' livelihoods, they are more willing to participate.

Farmers like to participate in discussions and share their experiences, but it has to be clear to them what they will be discussing and learning, where they will be meeting, when, for how long and what the commitment is. Like most people, farmers like to learn in their own time and learn the most through sharing experiences and ideas and listen to other farmers' experiences. Farmers like to observe, and a good idea could, therefore, be to go on a field trip to visit one of the participants' farm and/or a village market. Farmers are also very practical in nature and like to practice what they have learnt, hence incorporating role-plays in the FAB discussion group is an option to define the FAB key messages

9

The role of the facilitator is to stimulate and encourage farmers in the meetings and learning process. This will support farmers in their willingness to talk, share their experiences and actively participate in the meetings. The facilitator should not lead the FAB discussion group, but collaborate with all participants to ensure that meetings are in line with the farmers' expectations. Also, the facilitator should simplify and make understandable to all the content of the discussions and summarize the discussions at defined intervals during the meeting. The facilitator should focus on each farmer's development by ensuring harmony and dialogue. Through encouraging collaboration, developing team spirit, strengthening farmers' confidence and encouraging farmers to cooperate, the facilitator will reduce competition among the participants.

A FAB discussion group facilitator is not a group leader and should not be one. Every farmer has the same importance as any other farmer, and all should be encouraged to lead the group together. Farmers need to support one another in the learning process. Sharing experiences benefits the entire group and provides each farmer support. For example, if one participant suggests an idea about a FAB key message of the FAB story book or shares an experience related to a FAB key message, the idea and/or experience becomes that of the entire FAB discussion group. This provides learning while increasing group unity.

Being a facilitator will provide the participants with knowledge, practical skills and experience in facilitating a meeting. This will enable each of the FAB discussion group farmers to organize and set up other FAB discussion groups with other farmers.

11

once again. Bottom line is that farmers are encouraged to implement what they learn on their farms.

Training method

The training method used in a FAB discussion group is fully participatory and is based on farmers' experiences related to both the FAB story book and, more importantly, from their experiences. It is crucial that farmers can communicate with one another speak freely knowing their opinions are respected, and that they find a good balance among farmers in terms of the time each has to talk. All farmers should have a chance to talk; the FAB discussion group must not be dominated by one or two farmers. The facilitator should encourage farmers who do not talk a lot or not at all to participate in the discussions.

FAB Key Messages

There are many FAB key messages within the FAB story book. Each FAB key message needs to be discussed, related to farmers' daily lives and be fully understood by farmers. One or more FAB key message(s) can be discussed during a meeting. This will depend on what the respective FAB discussion group decides upon regarding meeting times, farmers' motivation and desires. For each meeting, it is important to agree on what will be discussed and make sure everyone clearly understands it. Again, role-plays can be also used to capture the FAB key message as this will not only be fun, but will further encourage farmers' participation in the meeting and subsequent discussions.

A FAB key message can provide extensive discussions among farmer participants.

10

Methodologies to use

It was found that using storytelling, role-playing and FAB discussion group methodologies all together is effective. However, it depends on local circumstances and the farmers' motivations and needs. It could very well be that just one organized meeting, where the FAB story book is recounted using the storytelling or the role-play methodology, is sufficient. It is left to the facilitator to decide what methodology or which combination of methodologies is most applicable to local circumstances for implementing the FAB key messages with progressive farmers and farmers.

For example:

KEY MESSAGE 1 Farming as a Business is about earning money.

This key message can cover such subject matter areas for discussion as: why produce more crops and/or livestock; why is it important to sell crops and/or livestock for money; why is money important and, what can be done with money?

Planning meetings

Farmers in the FAB discussion group should be fully involved in planning meetings. It will increase their enthusiasm, emphasize their interests and affirm what they would like to discuss. The FAB key messages in this book provide guidance to what meetings need to be built around. However, other aspects may also be discussed. For example, lack of water in the local area as it may relate directly or indirectly to the FAB key messages.

Farmers must decide together or form a consensus on the number of meetings they should hold, how long the meetings will last and where they will take place.

The rules of a FAB discussion group

Rules for FAB discussion group meetings need to be defined by the farmers who participate in the meeting. The rules must be mutually agreed upon by all farmers and implemented when required. A "payment" system can be integrated, where each farmer gets six stones at

FAB STORY OF MR JUHUDI AND MR SIJALI

12



Welcome...

This is Mr. Juhudi and his family,
and this is Mr. Sijali and family.

They both have farms.

They make food and feed their
families but would also like to
sell some of their farm produce
to make money.



Mr. Juhudi has heard that
in his local village, there is a
storyteller who will be telling a
story about how to make money
from farming.



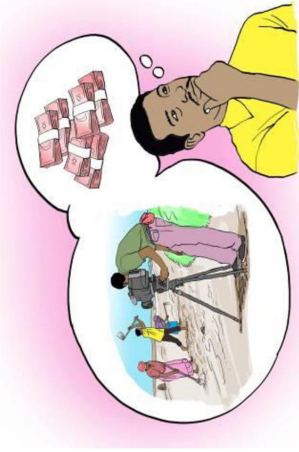
He is told that all are invited to
attend. Mr. Sijali is also told
about the storyteller.



Mr. Juhudi goes to the village meeting and listens carefully to the storyteller. The storyteller tells the story of two farmers, and how they intend to make money from farming.

After telling the story, the storyteller asks the villagers to participate and act out the story. The villagers act out the story and have fun. After the role-play, farmers and villagers discuss what they have done.

FAB KEY MESSAGE 1
Making money from farming is called "Farming as a Business".



Mr. Juhudi thinks about the story he was told, the acting he did and all the important points he learnt about farming for money.

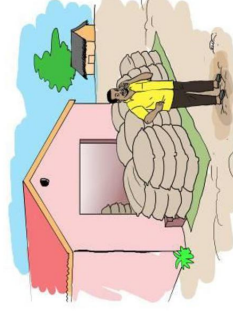
He sits down and plans what he wants to do so he can make money from farming.

FAB KEY MESSAGE 2
Farming as a business starts with planning.



Mr. Sijali wanted to go to listen to the storyteller, but he could not go because one of his children got sick. However, his friend Mr. Juhudi tells him all

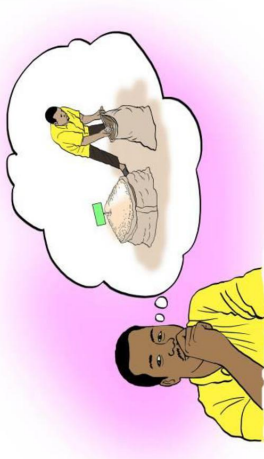
about the storyteller, the story about making money from farming and how they had fun in acting the story.



Mr. Juhudi calls his friends who sell products at different markets to ask about the prices of the various crops/livestock. He also visits the different market places to understand markets better.

He needs to know if there are markets where he can sell his crop or livestock before he produces them.

FAB KEY MESSAGE 3
Finding out what crops/livestock are in demand and what prices can be obtained is very important for farming as a business. Knowing where and who to sell farm produce needs to be known **before** production starts.



Mr. Juhudi sits down again and thinks about the information he obtained about what products are in demand and what prices these products can sell for.

Mr. Juhudi thinks that maize is a good crop to grow and that the prices are good.

FAB KEY MESSAGE 4
Knowing which farm products are in demand and what the prices are, are better planning for the farm business.

19

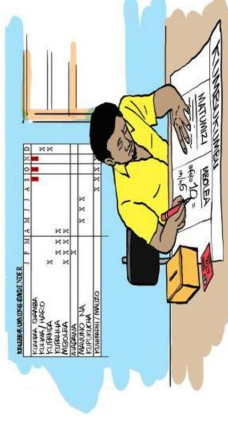


Mr. Juhudi knows the money he will need to spend to buy seeds and other things he will require to grow maize.

He also knows that if needed, he can count on help from villagers to help produce his maize crop and on his good friend Mr. Sijali.

FAB KEY MESSAGE 6
Knowing what will be spent before starting to produce a crop and/or raising livestock is very important. This will provide the costs of producing a farm enterprise.

21

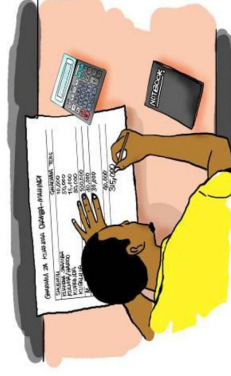


Mr. Juhudi drafts his plan. He thinks about all the money he will need to pay to grow maize, sell maize and the possible money he will receive in return.

Mr. Juhudi finds out by drafting a plan that maize could be a good crop to earn him money.

FAB KEY MESSAGE 5
Knowing the money that will be spent and earned before starting producing a crop and/or raising livestock is very important.

20



Mr. Juhudi works out how much money he can earn from selling maize. He thinks he can have about 30 sacks of maize at harvest time. He finds out what money he can make and

compares it to the money he will spend to grow the maize crop. He finds that he can get more money then he will spend.

FAB KEY MESSAGE 7
Farming as a business is about making more money than money spent. When more money is earned than money is spent, this is called profit.

22



Mr. Juhudi also works out what he will spend and earn for growing sunflowers. He finds out that he can make more money then he spends money in growing sunflower. He compares

the profit of maize with the profit of sunflower and finds that he can make more profit with maize.

FAB KEY MESSAGE 8

In farming as a business, it is always good to compare which types of crop and/or livestock will bring the most profit.

23

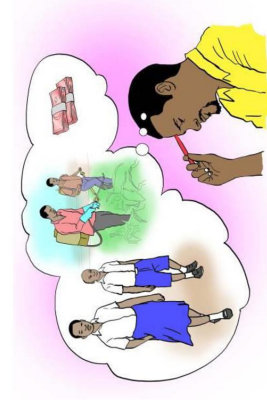


Mr. Juhudi is well organized. He has a plan and goes to buy seeds and fertilizer.

FAB KEY MESSAGE 10

Farming as a business is about being organized.

25



Mr. Juhudi thinks about the money he can make and also thinks about how this money can help his family, friends and others in his village. He thinks about his good friend Mr. Sijali.

Mr. Juhudi knows that if he plants maize, he can help his family members and other villagers to get work on the farm.

FAB KEY MESSAGE 9

Farming as a business can enable family, friends and villagers to find work.

24



Mr. Juhudi is organized. He has a plan and prepares well the land where he will plant his maize.

Mr. Juhudi knows how important it is to treat land well. He knows that if he treats his land well, it will treat him well and provide him with a lot of maize at harvest.

Mr. Juhudi and his wife Amina look after their land. They also plant trees to keep the land healthy.

FAB KEY MESSAGE 11

Farming as a business is about looking after land, water and nature.

26



Land provides Mr. Juhudi food and money. He knows that it is important to treat and prepare his land well; he also knows that he must not use too much fertilizer on his maize crop.

This will be bad for his maize crop and for his land and water too. He also knows that if he uses less fertilizer, he will spend less money.

FAB KEY MESSAGE 12
Farming as a business is about growing how to produce a crop and/or livestock properly.

27



Mr. Juhudi has done a good job - his maize crop is growing well. However, he calls Mr. Pombo, who is the local extension officer, to his farm.

Mr. Pombo is very helpful to Mr. Juhudi providing good advice about best practices for maize.

Mr. Juhudi invites Mr. Pombo to stay for lunch so they can talk more about best practices for maize. They talk about how good practices can make the maize crop healthy while also looking after land, water and nature.

FAB KEY MESSAGE 14
Farming as a business is about growing crops and/or rearing livestock using best practices that look after land, water and nature.

29



Mr. Juhudi knows that he has to set out a growing plan for his maize crop. He needs to plan; the plan for his maize crop enables him to know when he

will need to do work and when he will need to spend money.

FAB KEY MESSAGE 13
In farming as a business, crop planning and livestock planning is very important. This will reveal when work is required and when money needs to be spent.

28

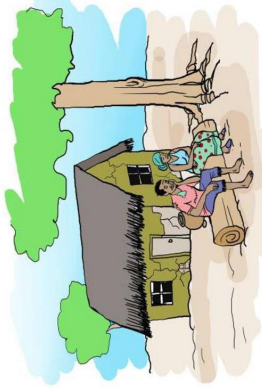


Mr. Juhudi has done a good job: the maize was healthy at harvest time and he had a lot of maize to harvest. He got his family to work and the villagers to help him harvest the crop. Mr. Juhudi

could see that he would get more than 30 sacks of maize from this harvest and was very happy.

FAB KEY MESSAGE 15
Farming as a business is about getting people to work together so that all people benefit.

30



After the hard work of harvest, Mr. Juhudi visits his good friend Mr. Sijali. He finds his friend and his wife very sad. Their harvest was not good. Mr. Juhudi sits down and talks to Mr. Sijali.

Mr. Juhudi has an idea for Mr. Sijali, but only tells him that he will be back after he has sold his maize crop.

FAB KEY MESSAGE 16
Farming as a business is about helping and telling others how they can farm to make money.

31

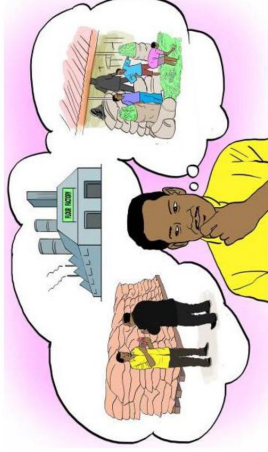


Mr. Juhudi knows that if he adds value to his maize, he can get a better price. He calls his friend Mr. Pimba who, for a small fee, brings his tractor to Mr Juhudi's farm and adds value to the maize crop by using a maize sheller.

The maize is then put in sacks. Mr. Juhudi finds that he has 39 sacks of maize each weighing 50 kg. He had thought that he initially would have got only about 30 sacks of maize from his harvest.

FAB KEY MESSAGE 18
Adding value to farm produce is important in farming as a business because it may yield better prices when produce is sold.

33

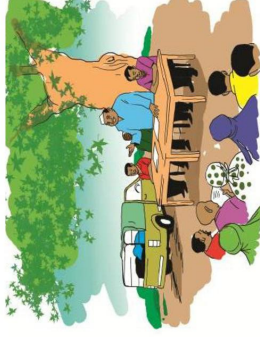


Mr. Juhudi knows that he has various options for selling his maize. From his market review he knows that he could sell his

maize to a processor, sell it at the market directly or sell it to a trader.

FAB KEY MESSAGE 17
Farming as a business is knowing who to sell crops and livestock to and getting the best possible prices.

32



Mr. Juhudi decides to sell part of his maize to a processor. Mr. Gerald is a processor, and on the day of sale, Mr. Gerald offers Mr. Juhudi a contract for the next maize harvest. Mr. Gerald also offers other farmers a contract for the next maize harvest.

FAB KEY MESSAGE 19
Farming as a business is about ensuring sales and getting a good price before anything is produced on the farm.

34



Mr. Juhudi carefully goes over the contract that has been offered to him by Mr. Gerald. He looks at the quantity and quality of seeds and fertilizer he will be given by Mr. Gerald to produce the maize, and importantly, what price he will get when the maize crop has to be delivered.

FAB KEY MESSAGE 20
Farming as a business is about reducing the risk of not being able to sell farm produce and not getting a good price.

35



Mr. Juhudi also sells some of his maize to a trader. The trader pays him a good price because the trader knows that the maize is good quality

37



Mr. Juhudi sells some of his maize at the market. He gets a good price for the maize he is selling because it has been processed and is of good quality.

FAB KEY MESSAGE 21
Farming as a business is about good quality farm produce and getting a good price for good quality.

36



Mr. Juhudi understands that if he provides quality maize in the required quantities and with a consistent supply, he can be successful in farming as a business

FAB KEY MESSAGE 22
Farming as a business is about providing farm produce that is good quality provided in the right quantities with a consistent supply and sold for a good price.

38



Mr. Juhudi thinks that he was successful also because he worked with other people – his family and other villagers.

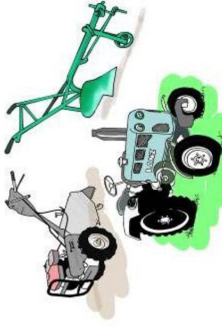
He also knows that he got a lot of information about prices and markets from his friends. He now knows that collaboration with other people is important.

FAB KEY MESSAGE 23
Farming as a business is about farmers helping each other to become businessmen/businesswomen.



Mr. Juhudi also realizes that some of the money he has made (profit) needs to be put back into the farm business so he can improve his farm business at the next maize harvest. Mr. Juhudi decides to buy a maize shelling machine. He knows that this will add value to his maize production. He also knows that he can provide maize shelling services to other farmers in his village and also make a little extra money from this.

FAB KEY MESSAGE 24
Farming as a business is about putting some of the earned profit back into the farm business. This is called an investment.



Mr. Juhudi also realizes that with the profit he made from selling his maize, he may need to buy other equipment for his farm business. But he is not sure if he has enough profit (money).

So Mr. Juhudi visits a financial service that lends money to farmers.



He goes to the financial service to find out how much money he can borrow, and how much it will cost him. He understands that the cost of borrowing money is called interest rate.

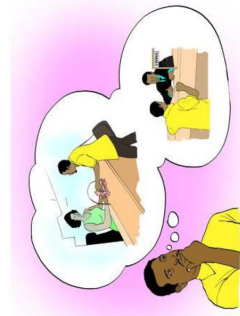
He understands that if he borrows 100 000 at an interest rate of five percent, he will have to pay back 100 000 plus five percent which is 5000. This means that he will have to pay back 105 000 to the financial service.

Mr. Juhudi is not convinced and considers other options he has.

Mr. Juhudi also thinks about the loan that would enable him to buy the farm equipment immediately. However, Mr. Juhudi realizes that it is better for him to save some of his profit, and buy the farm equipment later. Mr. Juhudi knows that if he saves and there is an emergency, for example somebody in the family gets sick, he can pay for a doctor and medicines.

FAB KEY MESSAGE 25
Farming as a business is about making wise decisions about what to do with profit.

43

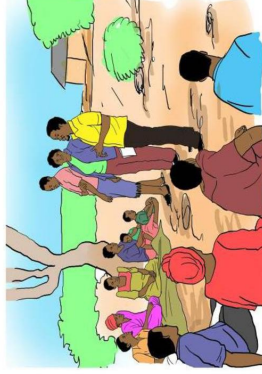


Mr. Juhudi thinks about how much profit he made. He considers how much of this profit he can save to buy farm equipment with his own money.

Mr. Juhudi understands that Mr. Sijali needs some support. He calls other villagers and they all have a meeting. This time Mr. Sijali is also present. Mr. Juhudi tells the villagers his story because he is now the storyteller. He also promised to support and help other farmers in farming as a business.

FAB KEY MESSAGE 26
Farming as a business is about sharing experiences about farming as a business with other farmers and providing support and help.

45



Mr. Juhudi goes back to see his friend Mr. Sijali. Mr. Juhudi asks his friend Mr. Sijali what happened to his crop. Mr. Sijali tells him that he planted his beans, prepared his land and knew the trader to whom he could sell his crop. But the trader, who was going to buy his beans, refused to buy his beans because they were not good quality and he needed a larger quantity of beans. The land did not provide as much beans as Mr. Sijali had expected, so Mr. Sijali became sad, but he had a party anyway.



44

Mr. Juhudi is happy. He has made money – a good profit. He knows he can help and support his family. Also, he knows he has helped and can support his friend Mr. Sijali and other villagers.

He knows this is important because farming as a business is about working with other people.

FAB KEY MESSAGE 27
Farming as a business is about working with other farmers and people.

46



D.6 Module Biochar

D.6.1 Objectifs généraux

- Dans un premier temps et de manière théorique, nous souhaitons initier les producteurs de coton au biochar et à son cycle de production pour compléter leurs connaissances en techniques agroécologiques.
 - Ensuite, nous passerons à la pratique en champs pour appliquer la théorie et nous assurer de la compréhension des cultivateurs.
-

D.6.2 Objectifs du module

Les agriculteurs seront initiés au biochar et comprendront comment utiliser cette nouvelle méthode. En parallèle, nous souhaitons leur apprendre l'importance de ce nouvel amendement du sol pour l'environnement et la culture et les sensibiliser à plusieurs choses :

- Les relations sol-plante améliorées ;
 - Les bons gestes de production et d'application du produit ;
 - Les techniques et le matériel de sécurité nécessaire ;
 - L'importance du partage d'informations et de l'aide entre agriculteurs ;
 - Les problèmes actuels dans les cultures de coton que nous souhaitons résoudre.
-

D.6.3 Résultats attendus

Au terme de la formation, les agriculteurs seront formés pour maîtriser la technique de l'amendement du sol par biochar et ils seront capables d'en produire en toute sécurité. De plus, ils auront conscience du potentiel écologique et économique du produit.

D.6.4 Lieu

- La première partie de la formation aura lieu au village avec tous les cultivateurs de coton qui le désirent pour une présentation générale du biochar.
 - La seconde partie de la formation aura lieu en champs, chez un des participants volontaires, par groupe de 5 agriculteurs afin d'assurer un meilleur encadrement.
-

D.6.5 Durée de la formation

Le module de formation se déroulera après la période de récolte et avant le brûlage ou compostage des tiges, vers le mois d'octobre. La phase théorique de l'enseignement durera une matinée et sera destinée à tous, tandis que les démonstrations sur le terrain se donneront par demi-journées.

D.6.6 Formateurs

Dans un premier temps, un agent de Koobo assurera les formations complètes. Par la suite, des agriculteurs compétents pourront participer et prendre en charge la seconde partie axée sur l'aspect pratique.

D.6.7 Première partie : apprentissage

Matériel

Pour fournir une explication de qualité et des informations simples et imagées, nous avons besoin d'un tableau, d'un guide explicatif avec beaucoup de schémas très visuels et du matériel pour prendre note au cas où les participants sont lettrés. Il est aussi important d'apporter un échantillon de biochar pour montrer sa composition et permettre de présenter les différentes étapes de la production de façon concrète avec une boîte qui représentera le four.

Animation et discussion

L'atelier aura pour sujet les relations sol-plantes et les problèmes qui visent le sol et le coton causés par l'agriculture non durable. Dans un second temps, le biochar sera présenté avec ses avantages et les moyens de le produire. Ces enseignements et les consignes de sécurité seront exposés à l'aide de schémas simples et imagés.

Un temps de discussion sera consacré aux questions des agriculteurs et au partage de conseils et expériences entre les agriculteurs, les agents de Koobo et l'assemblée.

D.6.8 Seconde partie : sur le terrain

Matériel

Concernant la formation pratique en champs, il est nécessaire de préparer un four TLUD complet et de prévoir du matériel agricole basique (pelles...). Les tas de tiges doivent être présents pour pouvoir montrer le chauffage et obtenir du biochar. Finalement, il faut prévoir des lunettes et des masques de protection pour tout le monde et des paires de gants uniquement pour les personnes qui procéderont la démonstration. Enfin, le guide utilisé en première partie est toujours valable pour garder une trace de toutes les étapes.

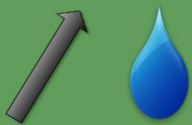
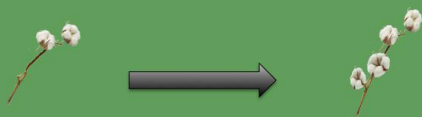
Démonstration

En premier lieu, les tiges de coton seront pyrolysées dans les fours TLUD lors de la période qui suit la récolte et après que toutes les tiges aient été rassemblées en tas sur la parcelle. Une fois que le bidon principal est surélevé et rempli de façon homogène par les tiges, le feu est appliqué au sommet du réacteur principal. Il est ensuite recouvert par le haut de la cheminée une fois qu'il

a suffisamment pris. C'est bien sûr lors de ces étapes que les outils de protection (gants, masque, lunette) sont à porter. Dès que le changement de couleur de la fumée a opéré, et ce après 3h maximum, l'agriculteur et une seconde personne doivent se munir des barres de métal afin de déplacer du four en fonctionnement. Celui-ci est déposé au sol et est recouvert par le couvercle clos afin que la combustion s'arrête, du fait du manque d'oxygène. Si de l'eau est disponible, il est possible d'asperger le biochar déversé au sol pour être certain du refroidissement. Après une heure ou deux, une fois que le biochar est refroidi, le biochar est prêt pour être épandu sur les sols. C'est à ce moment que le producteur et les membres proches du champ lors de la manipulation doivent absolument porter un masque afin d'éviter l'inhalation de particules.

En deuxième lieu lors de la phase d'amendement, différentes méthodes d'application du biochar existent. Nous avons toutefois décidé de nous focaliser sur la méthode d'enfouissement en profondeur. En effet, la terre est nue ou est moins recouverte après récolte et l'érosion éolienne peut être marquée. Il est crucial de limiter ce phénomène en amenant le biochar vers la rhizosphère où il sera d'autant plus utile. Afin d'y arriver tout en limitant la charge de travail pour les producteurs, des bandes plus au moins profondes sont creusées là où les tiges ont été prélevées pour s'étendre sur la parcelle au fur et à mesure des pyrolyses. Le biochar sera placé dans ces trous qui seront ensuite recouverts. Même si à ce moment le biochar sera dispersé de manière très locale dans le sol, il sera dispersé sur la parcelle lors des labours ou du buttage (techniques agroécologiques) et profitera à plus de superficie. Une fois que tout cela est réalisé, le cultivateur peut reprendre le contrôle de sa parcelle et continuer la gestion de son champ naturellement.

Projet Koobo - Biochar



Annexe E

Annexes financières

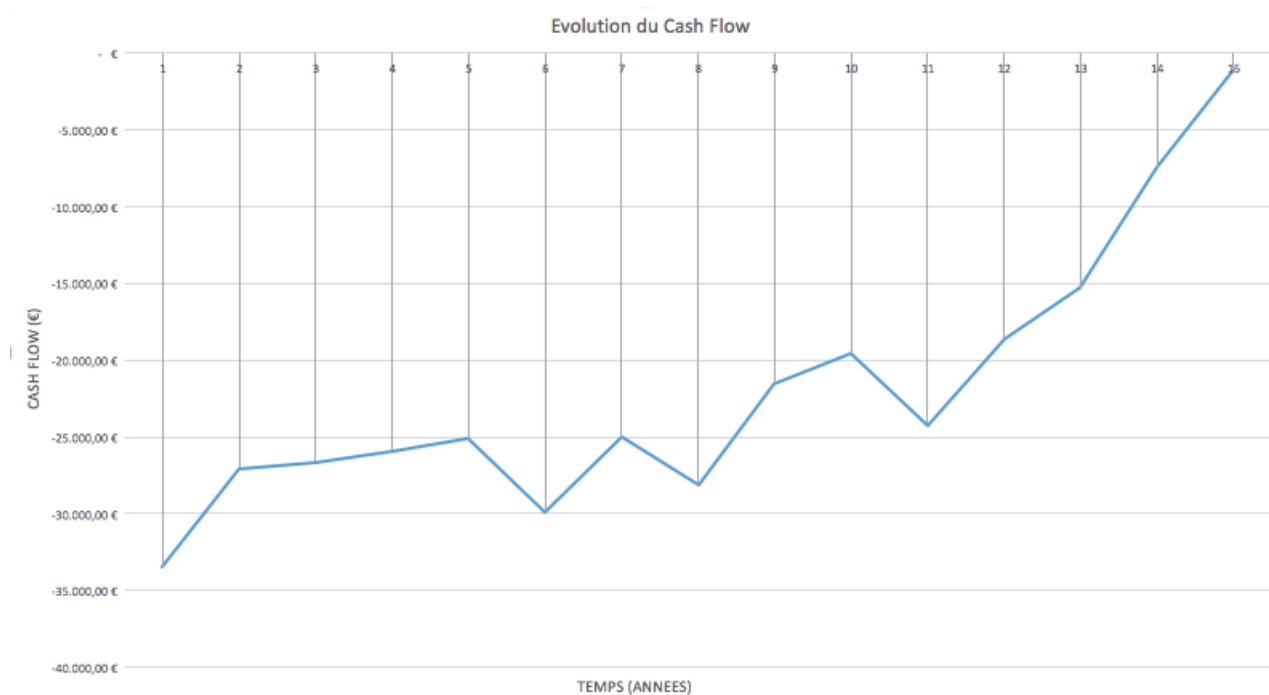
E.1 Scénarios financiers

E.1.1 Scénario pessimiste

Variables	
Rendements	0,350131752 t / producteur
Commission textile	4%
Commission microcrédits	2%
Taux des crédits irrécouvrables	3%
Peu de producteurs	4 groupements en A1 croissance de 15% entre A1 et A5 croissance de 15% entre A6 et A10 croissance de 20% à partir de A11

Besoin en financement € 329.002,96

Breakeven Après 15 ans

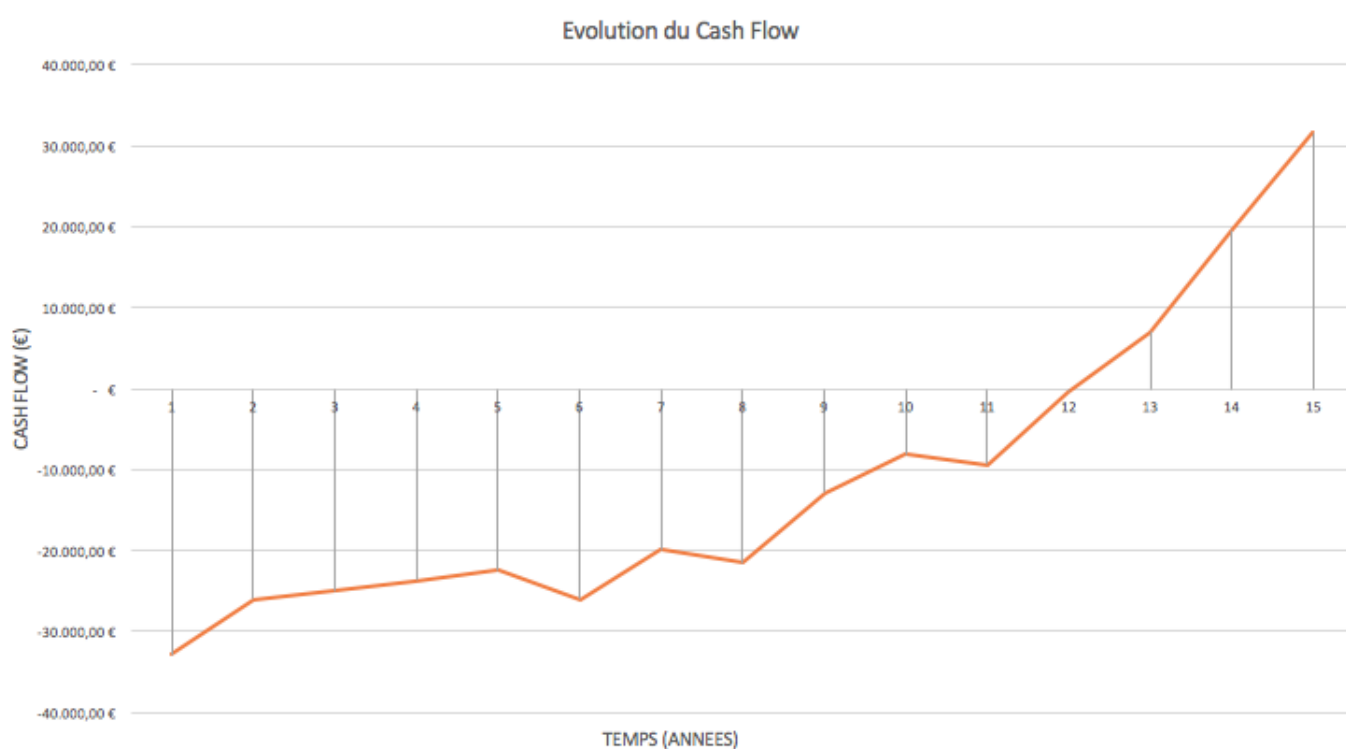


Intitulé	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15
REVENUS															
Nombre de nouveaux groupements	4	5	5	6	7	11	13	15	17	19	26	31	37	45	54
Nombre de producteurs (15 prod/groupement)	60	75	75	90	105	165	195	225	255	285	390	465	555	675	810
Nombre de producteurs membres de Kobbo	60	135	210	300	405	570	765	990	1245	1530	1900	2385	2940	3615	4425
Total production (0.350317521 / producteur)	21.01	47.27	75.53	105.04	141.80	199.58	267.85	346.63	435.91	535.70	692.25	855.06	1.028.39	1.265.73	1.549.33
Revenu production (0.1476/bonne)	8.697.27	19.568.86	30.400.45	43.486.34	58.796.59	82.626.79	110.889.28	143.505.00	180.468.41	221.798.45	278.112.79	345.716.59	420.166.36	524.030.68	641.429.86
Commission perçue par Kobbo (4%/totalprod)	347.89	782.75	1.217.62	1.739.45	2.348.26	3.304.96	4.433.63	5.740.20	7.218.74	8.871.22	11.132.51	13.828.66	17.046.65	20.960.43	25.656.95
Montant du microcrédit par nouveau producteur	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00
Total du montant des prêts	60	105	127.5	153.75	182	256	323	386	448	509	645	787	949	1149	1385
Commission perçue par Kobbo (2%/total)	300.00	315.00	332.50	463.25	545.63	767.83	968.91	1.159.45	1.344.73	1.527.36	1.933.68	2.363.84	2.845.92	3.447.56	4.155.88
Revenus des formations (15€/producteur)	900.00	1.125.00	1.125.00	1.350.00	1.575.00	2.475.00	2.925.00	3.375.00	3.825.00	4.275.00	5.850.00	6.975.00	8.325.00	10.125.00	12.150.00
REVENUS TOTALX	1.427.89	2.222.75	2.725.12	3.550.70	4.468.89	6.547.78	8.329.52	10.274.65	12.388.46	14.675.58	18.916.19	23.165.50	28.217.57	34.533.39	41.960.93
COÛTS															
Nombre d'employés	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8
Salaires versués (250€/ouvrier/jour)	916.00	916.00	916.00	916.00	916.00	1.374.00	1.374.00	1.374.00	1.374.00	1.374.00	1.832.00	1.832.00	1.832.00	1.832.00	1.832.00
Baies producteurs/employé	15	19	39	23	26	28	33	38	43	48	60	58	66	84	102
Solaires encoch	10.493.00	10.003.00	10.902.00	10.493.00	10.902.00	16.480.00	16.480.00	16.480.00	16.480.00	16.480.00	21.480.00	21.480.00	21.480.00	21.480.00	21.480.00
Matéria (120€/mat) (remplacement en 5 ans. Remplacement après 2 ans)	1.429.39	1.429.00	1.429.00	1.429.00	1.429.00	1.676.00	1.676.00	1.676.00	1.676.00	1.676.00	2.148.00	2.148.00	2.148.00	2.148.00	2.148.00
Voyages (avion : 850€ + 120€/jour)	4.800.00	—	—	—	—	2.400.00	—	4.800.00	—	4.800.00	2.400.00	—	2.400.00	—	—
Administratif (juridique comptable, bancaires)	12.480.00	13.480.00	14.480.00	14.480.00	14.480.00	10.100.00	10.100.00	10.100.00	10.100.00	10.100.00	6.760.00	6.760.00	6.760.00	6.760.00	6.760.00
Marketing	129.76	29.76	329.76	329.76	329.76	484.64	484.64	484.64	484.64	484.64	653.52	653.52	653.52	653.52	653.52
Frais de fonctionnement des activités (essence, matériel, diagnostic, etc)	1.500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	1.500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	1.500.00	500.00	500.00	500.00	500.00
Credits récupérables (3%)	1.448.80	1.448.80	1.448.80	1.448.80	1.448.80	2.473.20	2.473.20	2.473.20	2.473.20	2.473.20	3.297.60	3.297.60	3.297.60	3.297.60	3.297.60
COÛTS TOTALX	34.849.95	29.252.06	29.353.31	29.477.44	29.598.00	36.446.56	33.348.20	38.434.02	33.911.93	34.185.88	43.140.42	41.922.66	43.508.78	42.011.84	43.070.87
REVENUS NETS	33.422.06	27.029.31	26.686.19	25.920.73	25.129.11	29.888.78	25.018.68	28.159.37	21.529.47	19.932.30	24.224.23	18.657.15	15.291.20	7.478.45	1.109.93
Dettes cumulées	- 33.422.06	- 60.451.36	- 87.079.55	- 113.000.28	- 138.129.39	- 168.028.18	- 193.046.86	- 221.206.23	- 242.729.69	- 262.242.00	- 286.466.23	- 305.123.38	- 320.414.58	- 327.893.03	- 329.002.96
Revenus net par producteur	557.03	360.39	355.04	288.01	239.22	181.20	128.30	125.15	84.41	68.46	62.11	40.12	27.55	11.08	1.37

E.1.2 Scénario neutre

Variables	
Taux de production	0,400861038t/an/prod
Commission textile	5%
Commission microcrédits	2% jusqu'en A10 3% à partir de A11
Taux des crédits irrécouvrables	2%
Croissance nombre producteurs	5 groupements en A1 croissance de 15% entre A1 et A5 croissance de 20% entre A6 et A10 croissance de 20% entre A11 et A15

Besoin en financement € 227.625,95
Breakeven Année 11



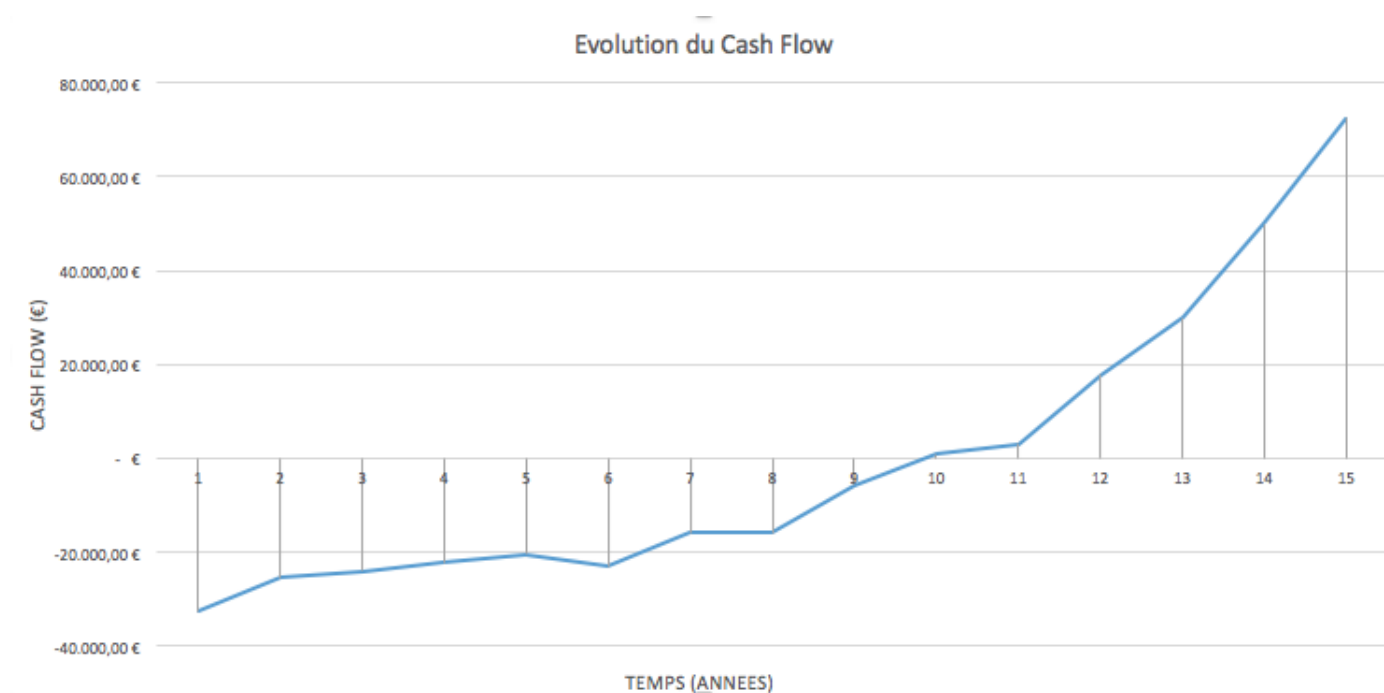
Intitulé	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15
REVENUS															
Nombre de nouveaux groupements	5	6	7	8	9	14	17	20	24	29	35	42	50	60	72
Nombre de producteurs (15 prof/groupement)	75	90	105	120	135	210	255	300	360	435	525	630	750	900	1080
Nombre de producteurs membres de Koobo	75	165	270	390	525	715	990	1290	1650	2085	2610	3240	3990	4890	5970
Total production (0.40085 (0.81 / producteur)	30.06	66.14	108.23	156.34	210.45	294.63	396.85	517.11	661.42	835.80	1.006.25	1.289.79	1.599.44	1.960.21	2.393.14
Revenu production (4144/(tonne)	12.446,74 €	27.382,82 €	46.898,25 €	64.723,02 €	87.127,15 €	124.978,01 €	164.965,91 €	214.083,85 €	279.828,18 €	346.019,24 €	433.146,39 €	537.698,96 €	662.166,31 €	811.527,14 €	990.760,12 €
Commission perçue par Koobol (5%/totalprofit)	622,84 €	1.369,14 €	2.240,45 €	3.236,15 €	4.356,36 €	6.095,90 €	8.214,85 €	10.704,19 €	13.693,45 €	17.300,96 €	21.657,32 €	26.884,95 €	33.108,32 €	40.576,36 €	49.539,00 €
Montant du microcrédit par nouveau producteur	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €
Total du nombre de prêts	75	127,5	188,75	204,75	237	329	419	510	615	742	896	1078	1289	1545	1882
Total du montant des prêts	11.250,00 €	19.120,00 €	28.312,50 €	30.566,25 €	35.578,13 €	49.286,06 €	62.894,13 €	76.447,27 €	98.223,63 €	111.961,43 €	134.430,91 €	161.765,45 €	193.937,73 €	231.678,86 €	277.839,43 €
Commission perçue par Koobo (2%/total)	225,00 €	382,50 €	500,25 €	613,13 €	711,56 €	985,78 €	1.257,89 €	1.528,95 €	1.844,47 €	2.227,24 €	2.727,24 €	3.303,73 €	4.032,93 €	4.851,46 €	5.835,18 €
Revenus des formations (15\$/producteur)	1.125,00 €	1.350,00 €	1.575,00 €	1.800,00 €	2.025,00 €	3.150,00 €	3.825,00 €	4.500,00 €	5.400,00 €	6.525,00 €	7.875,00 €	9.450,00 €	11.250,00 €	13.500,00 €	16.200,00 €
REVENUS TOTAUX	1.972.34 €	3.101.64 €	4.321.66 €	5.649.28 €	7.092.92 €	10.234.68 €	13.297.74 €	16.733.14 €	20.935.88 €	26.053.20 €	33.565.25 €	41.186.41 €	50.159.05 €	61.026.72 €	74.073.19 €
COÛTS															
Nombre d'employés	4	4	4	4	4	6	6	8	8	6	8	8	8	8	8
Salaires mensuels (225\$/universitaire)	916,00 €	916,00 €	916,00 €	916,00 €	916,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €
Ratio producteur/employé	18,75	23	26	30	34	35	43	50	60	73	66	79	94	113	135
Salaires annuels	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €
Loueur (1830\$/local)	1.829,39 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €
Motos (1200\$/moto) (amortissement en 5 ans, Remplacement après 7 ans)	4.800,00 €	-	-	-	-	2.400,00 €	-	4.800,00 €	-	-	2.400,00 €	-	2.400,00 €	-	-
Voyages (avion + 850€ + 120\$/jours)	13.480,00 €	13.480,00 €	13.480,00 €	13.480,00 €	13.480,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €
Administratif (juridique, comptable, bancaire)	319,74 €	319,74 €	319,74 €	319,74 €	319,74 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	659,52 €	659,52 €	659,52 €	659,52 €	659,52 €
Marketing	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €
Frais de fonctionnement des activités (essence, matériel, diagnostic, etc)	1.448,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	2.473,20 €	2.473,20 €	2.473,20 €	2.473,20 €	2.473,20 €	3.297,60 €	3.297,60 €	3.297,60 €	3.297,60 €	3.297,60 €
Credits rattachables (2%)	225,00 €	332,50 €	500,25 €	613,13 €	711,56 €	985,78 €	1.257,89 €	1.528,95 €	1.844,47 €	2.227,24 €	2.727,24 €	3.303,73 €	4.032,93 €	4.851,46 €	5.835,18 €
COÛTS TOTAUX	34.804,95 €	29.152,06 €	29.285,81 €	29.392,69 €	29.491,12 €	36.287,62 €	33.152,73 €	38.232,79 €	33.739,31 €	34.112,08 €	42.928,51 €	41.514,21 €	43.107,05 €	41.473,47 €	42.296,68 €
REVENUS NETS	32.832,61 €	26.060,45 €	24.964,15 €	23.743,41 €	22.398,20 €	26.045,94 €	19.854,99 €	21.490,65 €	12.803,43 €	8.085,48 €	9.363,27 €	327,79 €	7.032,00 €	19.553,25 €	31.676,50 €
Dettes cumulées	- 32.832,61 €	- 58.893,03 €	- 83.857,18 €	- 107.600,59 €	- 129.998,79 €	- 156.044,73 €	- 175.899,72 €	- 197.390,37 €	- 210.193,80 €	- 218.262,68 €	- 227.625,95 €	- 227.955,74 €	- 220.901,74 €	- 201.348,50 €	- 169.571,99 €
Revenus net par producteur	- 437,77 €	- 289,56 €	- 237,75 €	- 197,86 €	- 165,91 €	- 124,03 €	- 77,86 €	- 71,64 €	- 35,57 €	- 18,55 €	- 17,83 €	- 0,52 €	- 9,40 €	- 21,73 €	- 29,33 €

E.1.3 Scénario optimiste

Variables	
Taux de rendements	0,45
Commission textile	6%
Commission microcrédits	2% ente A1 et A10 3% à partir A11
Taux des crédits irrécouvrables	1%
Croissance nombre producteurs	5 groupements en A1 croissance de 15% entre A1 et A5 croissance de 20% entre A6 et A10 croissance de 25% à partir de A11

Besoin en financement € 180.866,77

Breakeven Année 9



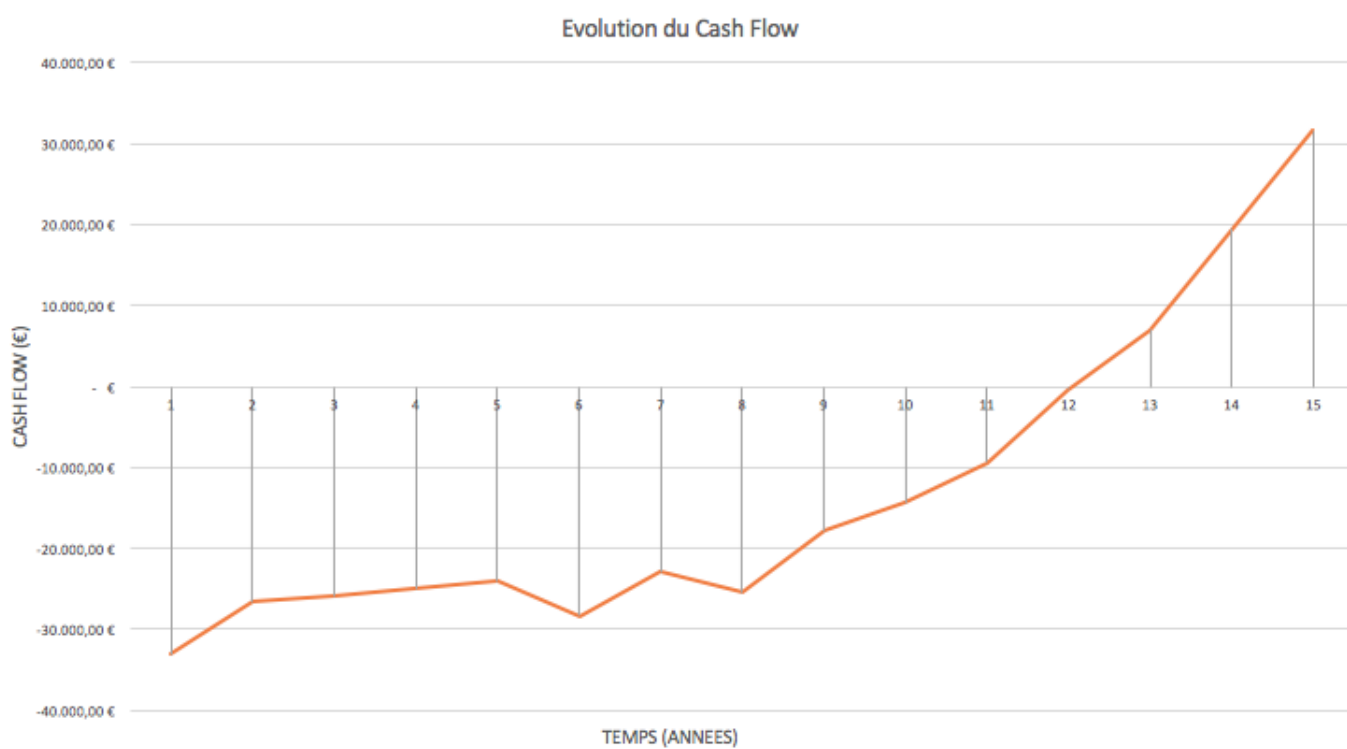
Intitulé	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15
REVENUS															
Nombre de nouveaux groupements	5	6	7	8	9	15	18	22	26	31	40	50	63	78	98
Nombre de producteurs (15 prod/groupement)	75	90	105	120	135	225	270	330	390	465	600	750	945	1170	1470
Nombre de producteurs membres de Koobo	75	165	270	390	525	750	1020	1350	1740	2205	2805	3555	4500	5670	7140
Total production (0,45 t / producteur)	33,75	74,25	121,50	175,50	236,25	337,50	459,00	607,50	780,00	992,25	1.262,25	1.999,75	2.025,00	2.551,50	3.210,00
Revenu production (414€/tonne)	13.972,50 €	307.894,50 €	50.300,00 €	72.657,00 €	97.807,50 €	139.725,00 €	190.026,00 €	251.505,00 €	324.162,00 €	407.913,50 €	522.571,00 €	662.396,50 €	888.500,00 €	1.056.310,00 €	1.330.182,00 €
Commission perçue par Koobo (5% total prod)	838,35 €	3.844,37 €	3.018,06 €	4.359,42 €	5.868,45 €	8.383,50 €	11.401,56 €	15.090,30 €	19.449,72 €	24.647,49 €	31.354,29 €	39.797,79 €	50.301,00 €	63.379,26 €	79.810,92 €
Montant du microcrédit par nouveau producteur	€	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €
Locaux (180€/local)	75	127,5	188,75	204,375	237	344	442	551	665	798	999	1249	1570	1955	2447
Total du montant des prêts	€	11.550,00 €	19.125,00 €	25.312,50 €	35.576,13 €	51.339,06 €	66.869,53 €	82.634,77 €	99.817,28 €	115.656,49 €	149.823,35 €	187.414,67 €	235.657,34 €	293.226,67 €	367.114,33 €
Commission perçue par Koobo (25% total)	€	225,00 €	382,50 €	506,25 €	613,13 €	711,56 €	871,35 €	1.052,70 €	1.299,63 €	1.593,17 €	1.996,35 €	2.522,44 €	3.167,72 €	3.976,86 €	5.013,43 €
Revenu des formations (15€/producteur)	€	1.125,00 €	1.350,00 €	1.575,00 €	1.800,00 €	2.025,00 €	2.250,00 €	2.475,00 €	2.700,00 €	2.925,00 €	3.150,00 €	3.375,00 €	3.600,00 €	3.825,00 €	4.050,00 €
REVENUS TOTAUX	€	2.188,35 €	3.576,87 €	5.099,31 €	6.772,55 €	8.605,01 €	10.767,95 €	12.789,28 €	15.236,07 €	17.515,66 €	20.449,17 €	23.610,23 €	26.539,72 €	29.261,12 €	31.874,35 €
COÛTS															
Nombre d'employés	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8
Salaires mensuels (225€/interstaire)	€	916,00 €	916,00 €	916,00 €	916,00 €	1.740,00 €	1.740,00 €	1.740,00 €	1.740,00 €	1.740,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €
Ratio producteurs/employé	18,75	23	26	30	34	38	45	55	65	78	75	94	118	146	184
Salaires annuels	€	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €
Locaux (180€/local)	€	1.800,00 €	1.800,00 €	1.800,00 €	1.800,00 €	2.700,00 €	2.700,00 €	2.700,00 €	2.700,00 €	2.700,00 €	3.600,00 €	3.600,00 €	3.600,00 €	3.600,00 €	3.600,00 €
Matos (1200€/moto) (amortissement en 5 ans. Remplacement apres 7 ans)	€	4.800,00 €	-	-	-	2.400,00 €	-	-	-	-	2.400,00 €	-	-	-	-
Voyages (avion= 850€ + 120€/jours)	€	13.400,00 €	13.400,00 €	13.400,00 €	13.400,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €
Administratif (juridique, comptable, bancaires)	€	329,76 €	329,76 €	329,76 €	329,76 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	693,52 €	693,52 €	693,52 €	693,52 €	693,52 €
Marketing	€	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €
Frais de fonctionnement des activités (essence, matériel, diagnostic, etc)	€	1.648,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	2.473,20 €	2.473,20 €	2.473,20 €	2.473,20 €	2.473,20 €	3.227,60 €	3.227,60 €	3.227,60 €	3.227,60 €	3.227,60 €
Credits rétroconables (1%)	€	112,20 €	101,20 €	20,113 €	306,56 €	315,78 €	642,20 €	826,33 €	994,12 €	1.194,53 €	1.408,29 €	1.724,15 €	2.154,57 €	2.632,29 €	3.171,16 €
COÛTS TOTAUX	€	34.692,45 €	28.970,81 €	29.032,69 €	29.086,12 €	35.870,23 €	32.557,54 €	37.521,10 €	32.033,01 €	33.091,43 €	41.738,19 €	36.714,04 €	41.594,47 €	39.772,18 €	40.511,04 €
REVENUS NETS															
	€	32.504,10 €	25.395,94 €	23.593,88 €	22.313,58 €	25.020,95 €	15.720,53 €	15.268,19 €	5.596,95 €	924,24 €	3.110,96 €	17.866,19 €	29.945,25 €	49.953,94 €	72.363,31 €
Dettes cumulées	-	32.504,10 €	-	81.831,41 €	-	124.675,32 €	-	179.305,05 €	-	183.977,75 €	-	162.970,59 €	-	83.071,40 €	-
Revenu net par producteur	-	433,39 €	-	227,94 €	-	152,08 €	-	47,96 €	-	1,99 €	-	23,86 €	-	31,69 €	-

E.1.4 Scénario mixte PPN

Variables	
Taux de production	0,35 - 0,35 - 0,40
Commission textile	4% - 4% - 5%
Commission microcrédits	2% jusqu'en A10 3% à partir de A11
Taux des crédits irrécouvrables	3% - 3% - 2%
Croissance nombre producteurs	5 groupements en A1 croissance de 15% entre A1 et A5 croissance de 20% entre A6 et A10 croissance de 20% entre A11 et A15

Besoin en financement € 253.266,26

Breakeven Année 12



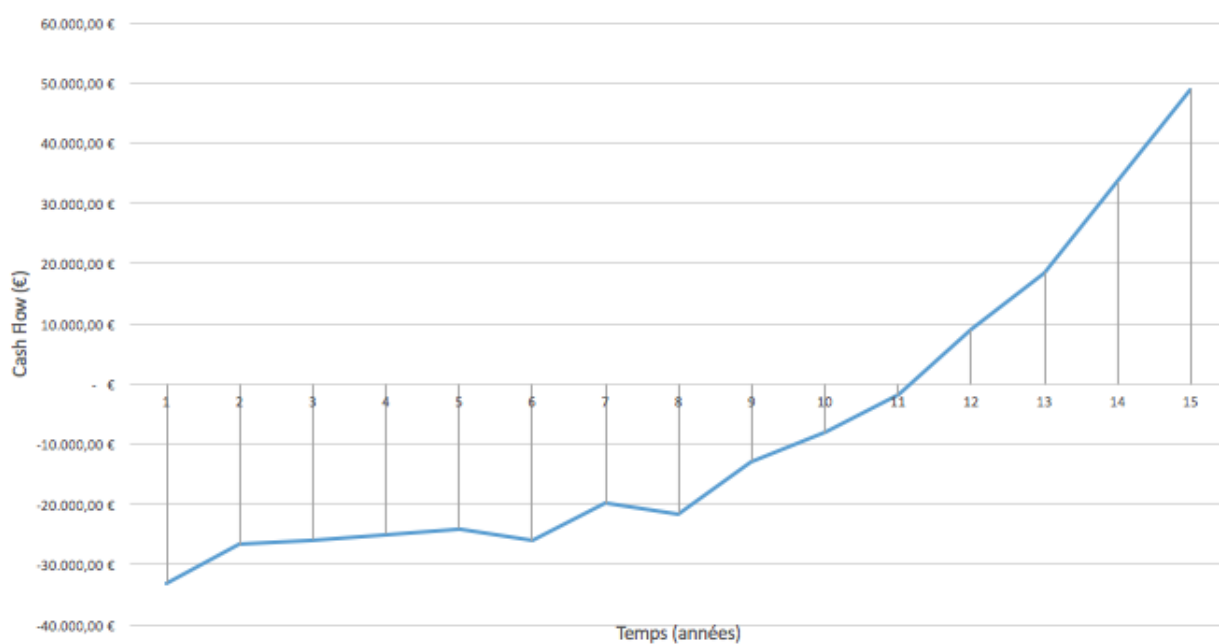
Intitulé	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15
REVENUS															
Nombre de nouveaux groupements	5	6	7	8	9	14	17	20	24	29	35	42	50	60	72
Nombre de producteurs (15\$/prof/groupement)	75	90	105	120	135	210	255	300	360	435	525	630	750	900	1080
Nombre de producteurs membres de Koobo	75	165	270	390	525	715	990	1290	1650	2085	2610	3240	3990	4890	5970
Total production	26,25	57,75	94,50	138,50	181,75	257,25	346,50	451,50	577,50	729,75	1.044,00	1.286,00	1.596,00	1.996,00	2.388,00
Revenu production (414\$/tonne)	10.867,50 €	23.908,50 €	39.129,00 €	56.511,00 €	76.077,50 €	106.503,50 €	143.851,00 €	186.921,00 €	239.086,00 €	302.116,50 €	432.216,00 €	536.544,00 €	660.744,00 €	809.784,00 €	988.632,00 €
Commission perçue par Koobo	439,20 €	956,34 €	1.564,92 €	2.260,44 €	3.042,90 €	4.260,06 €	5.738,04 €	7.476,84 €	9.562,40 €	12.084,66 €	16.210,80 €	20.827,20 €	26.037,20 €	32.489,20 €	49.431,60 €
Montant du microcrédit par nouveau producteur	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €
Total du nombre de prêts	75	127,5	188,75	204,75	237	329	419	510	615	742	896	1078	1289	1545	1882
Total du montant des prêts	11.250,00 €	19.120,00 €	28.312,50 €	30.656,25 €	35.578,13 €	49.286,06 €	62.894,53 €	76.447,27 €	99.229,63 €	111.961,82 €	134.430,91 €	161.761,45 €	193.357,73 €	231.678,86 €	277.839,43 €
Commission perçue par Koobo (25€/total)	22500€	382,50 €	500,25 €	613,13 €	711,56 €	985,78 €	1.257,89 €	1.528,95 €	1.844,47 €	2.227,24 €	2.693,93 €	3.251,46 €	3.900,73 €	4.650,37 €	5.515,18 €
Revenus des formations (15\$/producteur)	1.125,00 €	1.350,00 €	1.575,00 €	1.800,00 €	2.025,00 €	3.150,00 €	3.825,00 €	4.900,00 €	5.400,00 €	6.525,00 €	7.875,00 €	9.450,00 €	11.250,00 €	13.500,00 €	16.200,00 €
REVENUS TOTAUX	1.784,70 €	2.688,84 €	3.646,17 €	4.673,57 €	5.779,46 €	8.395,84 €	10.820,93 €	13.505,79 €	16.807,87 €	20.836,90 €	33.518,73 €	41.128,66 €	50.087,93 €	60.939,57 €	73.966,78 €
COÛTS															
Nombre d'employés	4	4	4	4	4	6	6	8	8	6	8	8	8	8	8
Salaires mensuels (225€/universitaire)	916,00 €	916,00 €	916,00 €	916,00 €	916,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €
Ratio producteur/employé	18,75	23	26	30	34	35	43	50	60	73	66	79	94	113	135
Salaires annuels	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	16.480,00 €	16.480,00 €	16.480,00 €	16.480,00 €	16.480,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €
Loueur (1200€/local)	1.829,39 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €
Motos (1200€/moto) (amortissement en 5 ans, Remplacement après 7 ans)	4.800,00 €	-	-	-	-	2.400,00 €	-	4.800,00 €	-	-	2.400,00 €	-	2.400,00 €	-	-
Voyages (avion + 850€ + 120€/jours)	13.480,00 €	13.480,00 €	13.480,00 €	13.480,00 €	13.480,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €
Administratif (juridique, comptable, bancaire)	319,74 €	319,74 €	319,74 €	319,74 €	319,74 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	659,52 €	659,52 €	659,52 €	659,52 €	659,52 €
Marketing	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €
Frais de fonctionnement des activités (essence, matériel, diagnostic, etc)	1.648,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	2.472,20 €	2.472,20 €	2.472,20 €	2.472,20 €	2.472,20 €	3.297,60 €	3.297,60 €	3.297,60 €	3.297,60 €	3.297,60 €
Credits rattachables	317,50 €	573,25 €	703,38 €	913,89 €	1.097,54 €	1.408,67 €	1.486,84 €	2.229,62 €	2.766,70 €	3.402,30 €	4.335,58 €	5.305,79 €	6.367,15 €	7.536,79 €	8.800,79 €
COÛTS TOTAUX	34.917,45 €	29.353,31 €	29.538,94 €	29.699,25 €	29.846,90 €	36.773,51 €	33.781,68 €	38.988,26 €	34.661,55 €	35.225,69 €	47.928,51 €	41.514,21 €	43.107,05 €	41.473,47 €	42.396,68 €
REVENUS NETS	33.132,75 €	26.564,47 €	25.892,71 €	25.025,68 €	24.067,44 €	28.377,07 €	22.940,75 €	25.482,47 €	17.853,68 €	14.398,40 €	9.409,79 €	385,54 €	6.980,88 €	19.466,09 €	31.570,10 €
Dettes cumulées	- 33.132,75 €	- 59.797,22 €	- 85.689,98 €	- 110.715,67 €	- 134.783,11 €	- 163.160,78 €	- 186.121,52 €	- 211.604,00 €	- 229.457,67 €	- 243.856,47 €	- 253.666,26 €	- 253.651,80 €	- 246.670,92 €	- 227.204,82 €	- 195.634,73 €
Revenu net par producteur	- 441,77 €	- 296,27 €	- 246,60 €	- 208,55 €	- 178,28 €	- 135,13 €	- 90,04 €	- 84,94 €	- 49,59 €	- 33,10 €	- 17,92 €	- 0,61 €	- 9,31 €	- 21,63 €	- 29,23 €

E.1.5 Scénario mixte PNO

Variables	
Taux de production	0,35 - 0,4 - 0,45
Commission textile	4% - 5% - 6%
Commission microcrédits	2% jusqu'en A10 3% à partir de A11
Taux des crédits irrécouvrables	3% - 2% - 1%
Croissance nombre producteurs	5 groupements en A1 croissance de 15% entre A1 et A5 croissance de 20% entre A6 et A10 croissance de 20% entre A11 et A15

Besoin en financement € 225.013,31
Breakeven Année 11

Evolution du Cash Flow
Scénario P - N - O

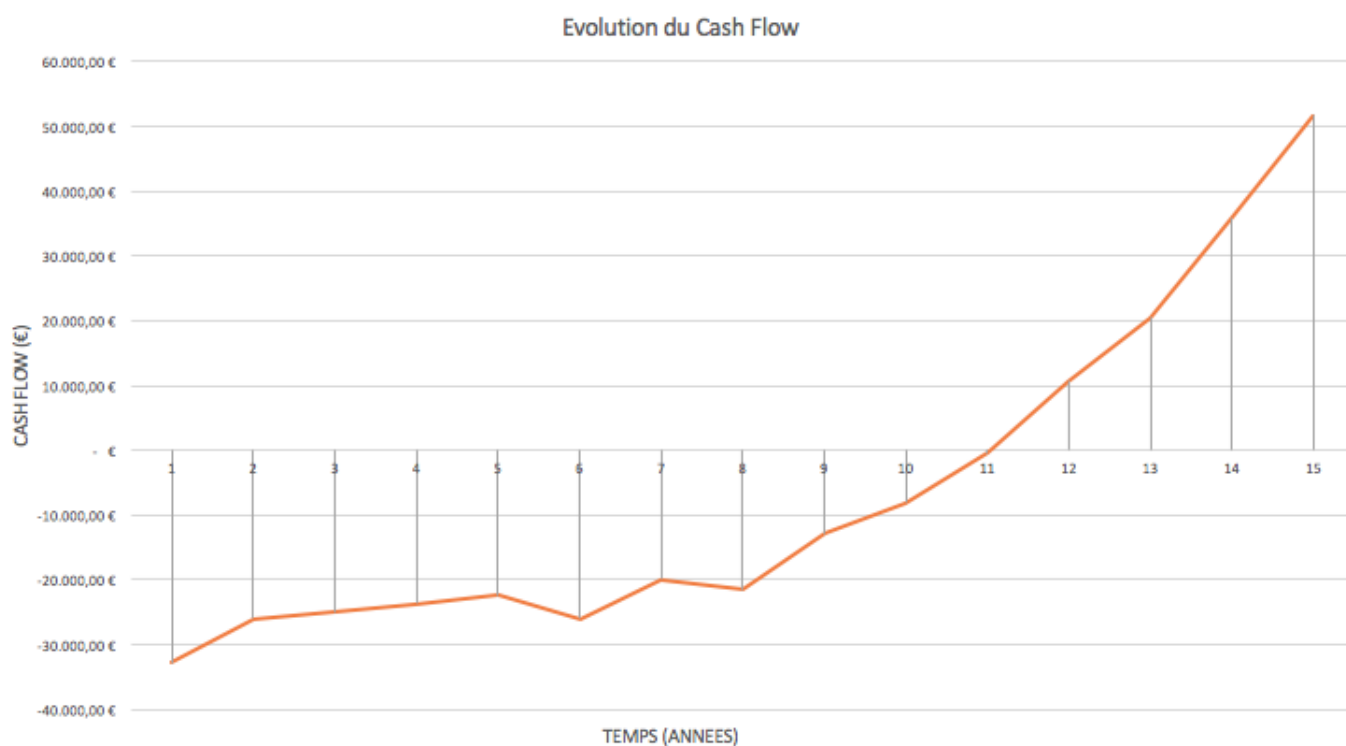


Intitulé	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15
REVENUS															
Nombre de nouveaux groupements	5	6	7	8	9	14	17	20	24	29	35	42	50	60	72
Nombre de nouveaux producteurs (15 prod/groupement)	75	90	105	120	135	210	255	300	360	435	525	630	750	900	1080
Nombre de producteurs membres de Koobo	75	165	270	390	525	715	990	1290	1650	2085	2610	3240	3990	4890	5970
Total production	26,25	57,75	94,50	138,50	181,75	284,00	396,00	516,00	660,00	834,00	1.174,50	1.458,00	1.795,50	2.200,50	2.686,50
Revenu production (414€/tonne)	10.867,50 €	23.908,50 €	39.129,00 €	56.511,00 €	76.077,50 €	121.716,00 €	163.844,00 €	213.624,00 €	279.246,00 €	345.276,00 €	446.243,00 €	609.632,00 €	743.337,00 €	911.007,00 €	1.112.211,00 €
Commission perçue par Koobo	439,70 €	956,34 €	1.564,92 €	2.260,44 €	3.042,90 €	6.082,80 €	8.197,20 €	10.681,20 €	13.662,00 €	17.263,80 €	29.174,58 €	36.210,72 €	44.600,22 €	54.660,42 €	66.732,66 €
Montant du microcrédit par nouveau producteur	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €
Total du nombre de prêts	75	127,5	188,75	204,75	237	329	419	510	615	742	896	1078	1289	1545	1882
Total du montant des prêts	11.250,00 €	19.120,00 €	26.312,50 €	30.656,25 €	35.578,13 €	49.286,06 €	62.894,13 €	76.447,27 €	99.229,61 €	111.961,82 €	134.430,91 €	161.76,45 €	193.937,73 €	231.678,86 €	277.839,43 €
Commission perçue par Koobo (25€/total)	225,00 €	382,50 €	500,25 €	613,13 €	711,56 €	985,78 €	1.257,89 €	1.528,95 €	1.844,47 €	2.227,24 €	4.032,93 €	4.851,46 €	5.800,73 €	6.950,37 €	8.335,18 €
Revenus des formations (15€/producteur)	1.125,00 €	1.350,00 €	1.575,00 €	1.800,00 €	2.025,00 €	3.150,00 €	3.825,00 €	4.900,00 €	5.400,00 €	6.525,00 €	7.875,00 €	9.450,00 €	11.250,00 €	13.500,00 €	16.200,00 €
REVENUS TOTAUX	1.784,70 €	2.688,84 €	3.646,17 €	4.673,57 €	5.779,46 €	10.221,58 €	13.280,09 €	16.710,15 €	20.906,47 €	26.016,04 €	41.082,51 €	50.518,18 €	61.650,95 €	75.110,79 €	91.567,84 €
COÛTS															
Nombre d'employés	4	4	4	4	4	6	6	8	8	6	8	8	8	8	8
Salaires mensuels (225€/unverstaîne)	916,00 €	916,00 €	916,00 €	916,00 €	916,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €
Ratio producteur/employé	18,75	23	26	30	34	35	43	50	60	73	66	79	94	113	135
Salaires annuels	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €
Loueur (1200€/local)	1.829,39 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €
Motos (1200€/moto) (amortissement en 5 ans, Remplacement après 7 ans)	4.800,00 €	-	-	-	-	2.400,00 €	-	4.800,00 €	-	-	2.400,00 €	-	2.400,00 €	-	-
Voyages (avion + 850€ + 1200€/jours)	13.480,00 €	13.480,00 €	13.480,00 €	13.480,00 €	13.480,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €
Administratif (juridique, comptable, bancaire)	319,74 €	319,74 €	319,74 €	319,74 €	319,74 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	659,52 €	659,52 €	659,52 €	659,52 €	659,52 €
Marketing	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €
Frais de fonctionnement des activités (essence, matériel, diagnostic, etc)	1.648,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	2.472,20 €	2.472,20 €	2.472,20 €	2.472,20 €	2.472,20 €	3.297,60 €	3.297,60 €	3.297,60 €	3.297,60 €	3.297,60 €
Credits rattachables	317,50 €	573,25 €	703,38 €	913,89 €	1.097,54 €	965,78 €	1.257,89 €	1.528,95 €	1.804,02 €	2.227,24 €	2.686,62 €	3.243,31 €	3.867,15 €	4.633,58 €	5.505,79 €
COÛTS TOTAUX	34.917,45 €	29.353,31 €	29.538,94 €	29.699,25 €	29.846,90 €	36.282,62 €	33.152,73 €	38.232,79 €	33.739,31 €	34.122,08 €	47.928,51 €	41.514,21 €	43.107,05 €	41.473,47 €	42.396,68 €
REVENUS NETS	33.132,75 €	26.564,47 €	25.892,71 €	25.025,48 €	24.067,44 €	26.059,04 €	19.872,44 €	21.513,64 €	12.832,44 €	8.106,04 €	1.845,01 €	9.003,98 €	18.543,90 €	33.637,31 €	48.871,16 €
Dettes cumulées	- 33.132,75 €	- 59.797,22 €	- 85.689,98 €	- 110.715,67 €	- 134.783,11 €	- 160.842,16 €	- 180.714,79 €	- 202.228,43 €	- 215.061,27 €	- 223.167,31 €	- 225.013,31 €	- 216.009,34 €	- 197.465,13 €	- 163.828,12 €	- 114.956,96 €
Revenus net par producteur	- 441,77 €	- 296,27 €	- 246,60 €	- 208,55 €	- 178,28 €	- 124,09 €	- 77,93 €	- 71,71 €	- 35,65 €	- 18,63 €	- 3,52 €	- 14,29 €	- 24,73 €	- 37,37 €	- 45,25 €

E.1.6 Scénario mixte NNO

Variables	
Taux de production	0,4 - 0,4 - 0,45
Commission textile	5% - 5% - 6%
Commission microcrédits	2% jusqu'en A10 3% à partir de A11
Taux des crédits irrécouvrables	2% - 2% - 1%
Croissance nombre producteurs	5 groupements en A1 croissance de 15% entre A1 et A5 croissance de 20% entre A6 et A10 croissance de 20% entre A11 et A15

Besoin en financement **€ 218.910,09**
Breakeven **Année 11**

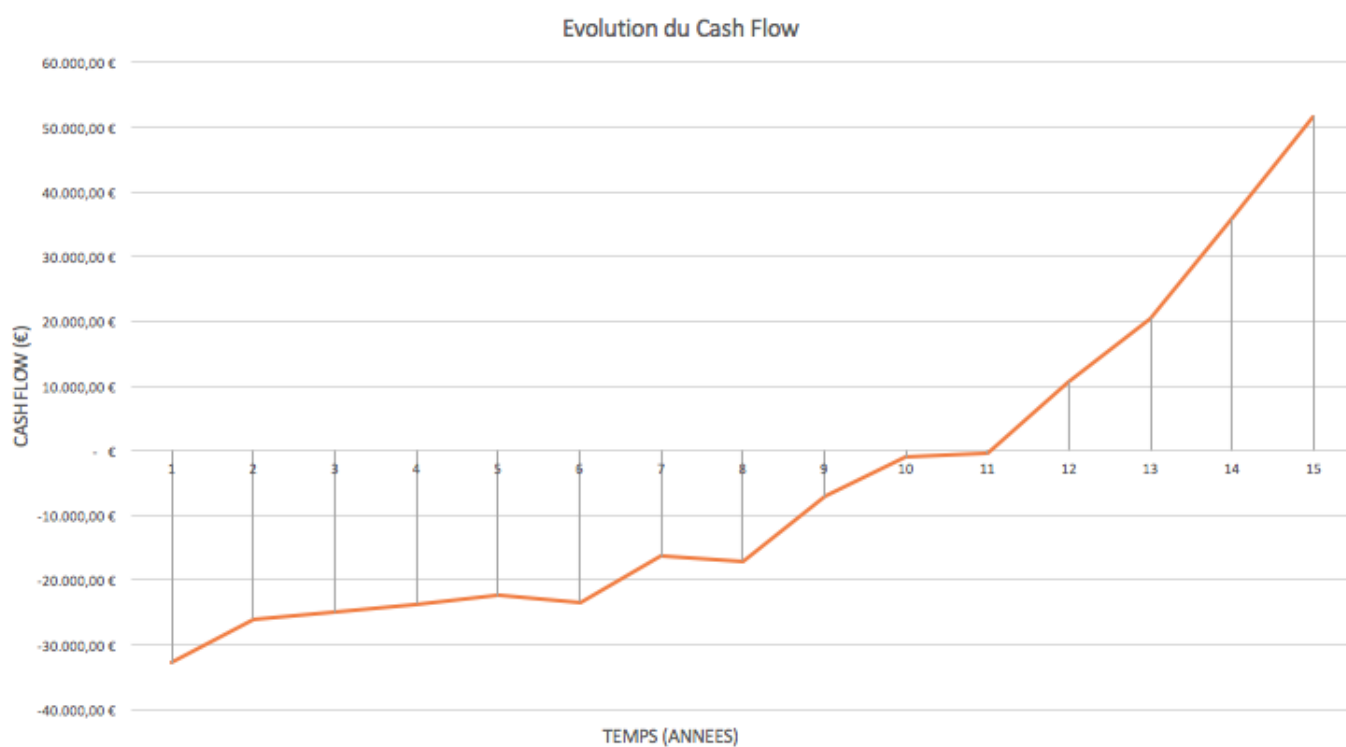


Intitulé	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15
REVENUS															
Nombre de nouveaux groupements	5	6	7	8	9	14	17	20	24	29	35	42	50	60	72
Nombre de producteurs (15\$/prof/groupement)	75	90	105	120	135	210	255	300	360	435	525	630	750	900	1080
Nombre de producteurs membres de Koobo	75	165	270	390	525	715	990	1290	1650	2085	2610	3240	3990	4890	5970
Total production	30,00	66,00	108,00	156,00	210,00	284,00	386,00	516,00	660,00	884,00	1.174,50	1.458,00	1.795,50	2.200,50	2.686,50
Revenu production (414\$/homme)	12.420,00 €	27.324,00 €	46.772,00 €	64.584,00 €	86.940,00 €	121.716,00 €	163.844,00 €	213.624,00 €	279.246,00 €	345.276,00 €	446.243,00 €	586.632,00 €	743.337,00 €	911.007,00 €	1.110.211,00 €
Commission perçue par Koobo	621,00 €	1.366,20 €	2.235,60 €	3.229,20 €	4.347,00 €	6.085,80 €	8.197,20 €	10.683,20 €	13.662,00 €	17.263,80 €	29.174,58 €	36.210,72 €	44.600,22 €	54.660,42 €	66.732,66 €
Montant du microcrédit par nouveau producteur	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €
Total du nombre de prêts	75	127,5	188,75	204,75	237	329	419	510	615	742	896	1078	1289	1545	1852
Total du montant des prêts	11.250,00 €	19.120,00 €	26.312,50 €	30.656,25 €	35.578,13 €	49.286,06 €	62.894,53 €	76.447,27 €	99.229,63 €	111.961,82 €	134.430,91 €	161.765,45 €	193.937,73 €	231.678,86 €	277.839,43 €
Commission perçue par Koobo (2\$/total)	225,00 €	382,50 €	500,25 €	613,13 €	711,56 €	985,78 €	1.257,89 €	1.528,95 €	1.844,47 €	2.227,24 €	4.032,93 €	4.851,46 €	5.800,73 €	6.950,37 €	8.335,18 €
Revenus des formations (15\$/producteur)	1.125,00 €	1.350,00 €	1.575,00 €	1.800,00 €	2.025,00 €	3.150,00 €	3.825,00 €	4.500,00 €	5.400,00 €	6.525,00 €	7.875,00 €	9.450,00 €	11.250,00 €	13.500,00 €	16.200,00 €
REVENUS TOTAUX	1.971,00 €	3.098,70 €	4.316,85 €	5.642,33 €	7.083,56 €	10.221,58 €	13.280,09 €	16.710,15 €	20.906,47 €	26.016,04 €	41.082,51 €	50.518,18 €	61.650,95 €	75.110,79 €	91.567,84 €
COÛTS															
Nombre d'employés	4	4	4	4	4	6	6	8	8	6	8	8	8	8	8
Salaires mensuels (225\$/un/semestre)	916,00 €	916,00 €	916,00 €	916,00 €	916,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.374,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €	1.832,00 €
Ratio producteur/employé	18,75	23	26	30	34	35	43	50	60	73	66	79	94	113	135
Salaires annuels	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	10.992,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	16.488,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €	21.984,00 €
Loueur (1200\$/local)	1.829,39 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €	1.829,00 €
Motos (1200\$/moto) (amortissement en 5 ans, Remplacement après 7 ans)	4.800,00 €	-	-	-	-	2.400,00 €	-	4.800,00 €	-	-	2.400,00 €	-	2.400,00 €	-	-
Voyages (avion + 850€ + 1200\$/jours)	13.480,00 €	13.480,00 €	13.480,00 €	13.480,00 €	13.480,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	10.110,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €	6.740,00 €
Administratif (juridique, comptable, bancaire)	319,74 €	319,74 €	319,74 €	319,74 €	319,74 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	494,64 €	659,52 €	659,52 €	659,52 €	659,52 €	659,52 €
Marketing	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	1.500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €
Frais de fonctionnement des activités (essence, matériel, diagnostic, etc)	1.648,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	1.648,80 €	2.472,20 €	2.472,20 €	2.472,20 €	2.472,20 €	2.472,20 €	3.297,60 €	3.297,60 €	3.297,60 €	3.297,60 €	3.297,60 €
Crédits incouvrables	225,00 €	332,50 €	506,25 €	613,13 €	711,56 €	985,78 €	1.257,89 €	1.528,95 €	1.844,47 €	2.227,24 €	3.944,31 €	4.851,46 €	5.800,73 €	6.950,37 €	8.335,18 €
COÛTS TOTAUX	34.804,95 €	29.152,06 €	29.285,81 €	29.392,69 €	29.491,12 €	36.280,62 €	33.152,73 €	38.232,79 €	33.739,31 €	34.112,08 €	41.584,21 €	39.897,05 €	41.173,47 €	39.156,68 €	39.519,29 €
REVENUS NETS	32.833,95 €	26.065,36 €	24.966,96 €	23.750,36 €	22.407,56 €	26.055,04 €	19.872,64 €	21.515,64 €	12.832,64 €	8.106,04 €	50,70 €	10.621,13 €	20.477,48 €	35.954,10 €	51.669,55 €
Dettes cumulées	- 32.833,95 €	- 58.897,31 €	- 83.866,27 €	- 107.616,63 €	- 130.024,19 €	- 156.085,23 €	- 175.955,87 €	- 197.469,51 €	- 210.302,35 €	- 218.408,39 €	- 218.910,09 €	- 208.286,95 €	- 187.811,47 €	- 151.857,37 €	- 100.207,82 €
Revenu net par producteur	- 437,79 €	- 289,59 €	- 237,80 €	- 197,92 €	- 165,98 €	- 124,09 €	- 77,93 €	- 71,71 €	- 35,65 €	- 18,63 €	- 0,96 €	- 16,86 €	- 27,30 €	- 39,95 €	- 47,82 €

E.1.7 Scénario mixte NOO

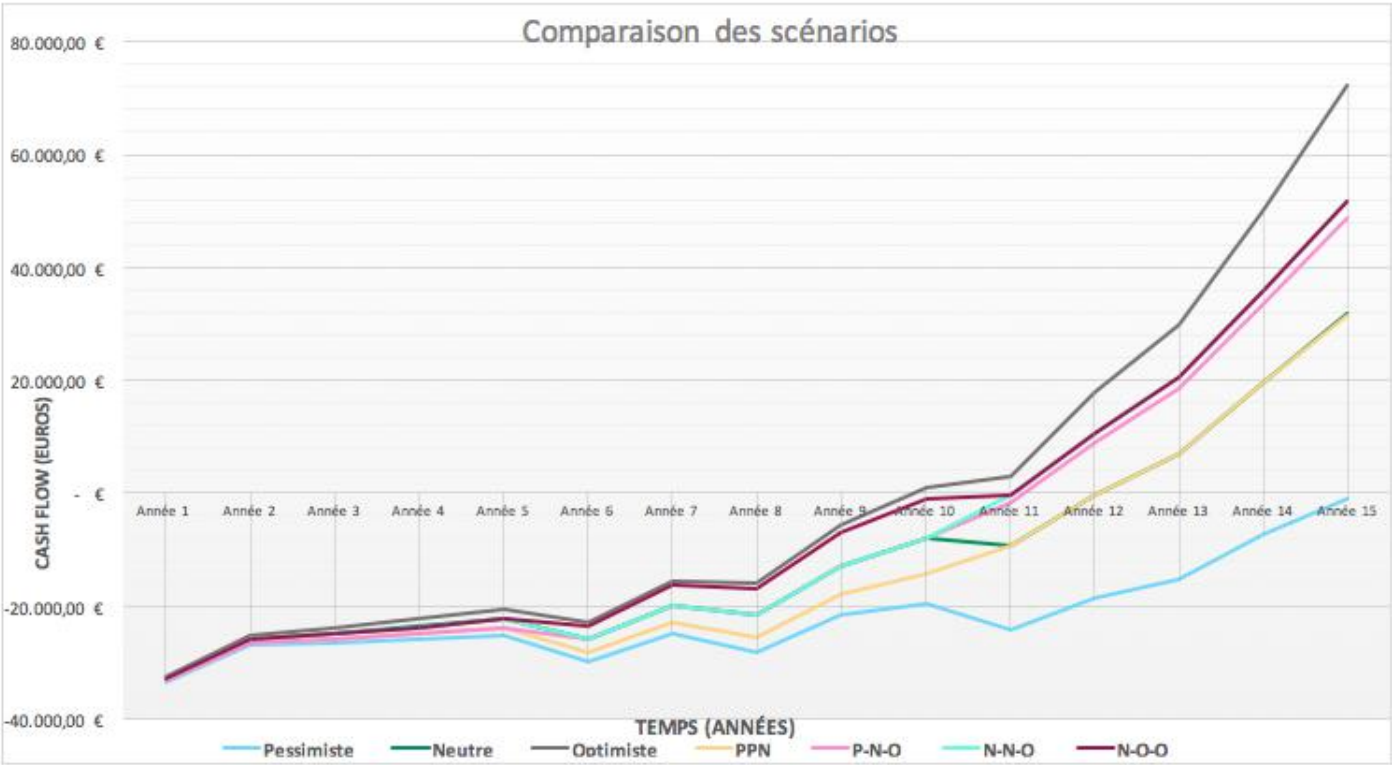
Variables	
Taux de production	0,4 - 0,45 - 0,45
Commission textile	5% - 6% - 6%
Commission microcrédits	2% jusqu'en A10 3% à partir de A11
Taux des crédits irrécouvrables	2% - 1% - 1%
Croissance nombre producteurs	5 groupements en A1 croissance de 15% entre A1 et A5 croissance de 20% entre A6 et A10 croissance de 20% entre A11 et A15

Besoin en financement **€ 195.426,42**
Breakeven **Année 11**



Intitulé	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15
REVENUS															
Nombre de nouveaux groupements	5	6	7	8	9	14	17	20	24	29	35	42	50	60	72
Nombre de producteurs (15 prof/groupement)	75	90	105	120	135	210	255	300	360	435	525	630	750	900	1080
Nombre de producteurs membres de Koobo	75	165	270	390	525	715	990	1290	1960	2085	2610	3240	3990	4890	5970
Total production	30,00	66,00	108,00	156,00	210,00	330,75	445,50	585,50	740,50	938,25	1.174,50	1.458,00	1.795,50	2.200,50	2.686,50
Revenu production (114€/tonne)	€ 12.420,00	€ 27.324,00	€ 46.770,00	€ 64.584,00	€ 86.940,00	€ 136.930,50	€ 184.437,00	€ 240.327,00	€ 307.396,00	€ 388.935,50	€ 486.243,00	€ 609.632,00	€ 743.337,00	€ 911.007,00	€ 1.110.211,00
Commission perçue par Koobo	€ 621,00	€ 1.366,20	€ 2.235,60	€ 3.229,20	€ 4.347,00	€ 8.215,85	€ 11.066,22	€ 14.419,62	€ 18.443,70	€ 23.306,12	€ 29.174,58	€ 36.210,72	€ 44.600,22	€ 54.860,42	€ 66.732,66
Montant du microcrédit par nouveau producteur	€ 150,00	€ 150,00	€ 150,00	€ 150,00	€ 150,00	€ 150,00	€ 150,00	€ 150,00	€ 150,00	€ 150,00	€ 150,00	€ 150,00	€ 150,00	€ 150,00	€ 150,00
Total du nombre de prêts	75	127,5	168,75	204,75	237	329	419	510	615	742	896	1078	1289	1545	1852
Total du montant des prêts	€ 11.250,00	€ 19.125,00	€ 25.312,50	€ 30.566,25	€ 35.578,13	€ 49.286,06	€ 62.894,13	€ 76.447,27	€ 92.229,61	€ 111.961,82	€ 134.830,91	€ 161.765,45	€ 193.937,73	€ 231.678,86	€ 277.839,43
Commission perçue par Koobo (2%/total)	€ 225,00	€ 382,50	€ 500,25	€ 613,13	€ 711,56	€ 985,78	€ 1.257,89	€ 1.528,95	€ 1.844,47	€ 2.227,24	€ 4.032,93	€ 4.851,46	€ 5.800,73	€ 6.950,37	€ 8.335,18
Revenus des formations (15€/producteur)	€ 1.125,00	€ 1.350,00	€ 1.575,00	€ 1.800,00	€ 2.025,00	€ 3.150,00	€ 3.825,00	€ 4.500,00	€ 5.400,00	€ 6.525,00	€ 7.875,00	€ 9.450,00	€ 11.250,00	€ 13.500,00	€ 16.200,00
REVENUS TOTAUX	€ 1.971,00	€ 3.098,70	€ 4.316,85	€ 5.642,33	€ 7.083,56	€ 12.351,61	€ 16.149,11	€ 20.448,57	€ 25.688,17	€ 32.058,37	€ 41.082,51	€ 50.518,18	€ 61.650,95	€ 75.110,79	€ 91.567,84
COÛTS															
Nombre d'employés	4	4	4	4	4	6	6	8	8	6	8	8	8	8	8
Salaires mensuels (225€/un/versement)	€ 916,00	€ 916,00	€ 916,00	€ 916,00	€ 916,00	€ 1.374,00	€ 1.374,00	€ 1.374,00	€ 1.374,00	€ 1.374,00	€ 1.832,00	€ 1.832,00	€ 1.832,00	€ 1.832,00	€ 1.832,00
Ratio producteur/employé	18,75	23	26	30	34	35	43	50	60	73	66	79	94	113	135
Salaires annuels	€ 10.992,00	€ 10.992,00	€ 10.992,00	€ 10.992,00	€ 10.992,00	€ 16.488,00	€ 16.488,00	€ 16.488,00	€ 16.488,00	€ 16.488,00	€ 21.984,00	€ 21.984,00	€ 21.984,00	€ 21.984,00	€ 21.984,00
Loyer (1830€/local)	€ 1.829,39	€ 1.829,00	€ 1.829,00	€ 1.829,00	€ 1.829,00	€ 1.829,00	€ 1.829,00	€ 1.829,00	€ 1.829,00	€ 1.829,00	€ 3.658,78	€ 3.658,78	€ 3.658,78	€ 3.658,78	€ 3.658,78
Motos (1200€/moto) (amortissement en 5 ans, Remplacement après 7 ans)	€ 4.800,00	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 2.400,00	€ -	€ 4.800,00	€ -	€ -	€ 2.400,00	€ 1.400,00	€ 2.400,00	€ -	€ -
Voyages (avion + 850€ + 120€/jours)	€ 13.480,00	€ 13.480,00	€ 13.480,00	€ 13.480,00	€ 13.480,00	€ 10.110,00	€ 10.110,00	€ 10.110,00	€ 10.110,00	€ 10.110,00	€ 6.740,00	€ 6.740,00	€ 6.740,00	€ 6.740,00	€ 6.740,00
Administratif (juridique, comptable, bancaire)	€ 319,74	€ 319,74	€ 319,74	€ 319,74	€ 319,74	€ 494,64	€ 494,64	€ 494,64	€ 494,64	€ 494,64	€ 659,52	€ 659,52	€ 659,52	€ 659,52	€ 659,52
Marketing	€ 1.500,00	€ 500,00	€ 500,00	€ 500,00	€ 500,00	€ 1.500,00	€ 500,00	€ 500,00	€ 500,00	€ 500,00	€ 1.500,00	€ 500,00	€ 500,00	€ 500,00	€ 500,00
Frais de fonctionnement des activités (essence, matériel, diagnostic, etc)	€ 1.648,80	€ 1.648,80	€ 1.648,80	€ 1.648,80	€ 1.648,80	€ 2.472,20	€ 2.472,20	€ 2.472,20	€ 2.472,20	€ 2.472,20	€ 3.297,60	€ 3.297,60	€ 3.297,60	€ 3.297,60	€ 3.297,60
Credits rattachables	€ 225,00	€ 332,50	€ 506,25	€ 613,13	€ 711,56	€ 982,80	€ 1.232,95	€ 1.544,31	€ 1.902,29	€ 2.313,62	€ 2.764,51	€ 3.251,58	€ 3.779,69	€ 4.310,79	€ 4.858,39
COÛTS TOTAUX	€ 34.804,95	€ 29.152,06	€ 29.285,81	€ 29.392,69	€ 29.491,12	€ 35.787,72	€ 32.523,79	€ 37.459,31	€ 32.817,08	€ 33.008,46	€ 41.584,21	€ 39.897,05	€ 41.173,47	€ 39.156,68	€ 39.519,29
REVENUS NETS	€ 32.833,95	€ 26.065,36	€ 24.966,96	€ 23.750,36	€ 22.407,56	€ 23.436,12	€ 16.374,67	€ 17.010,75	€ 7.126,90	€ 950,09	€ 50,70	€ 10.621,13	€ 20.477,48	€ 35.954,10	€ 51.669,55
Dettes cumulées	- 32.833,95	- 58.897,31	- 83.866,27	- 107.616,63	- 130.024,19	- 153.460,31	- 169.834,98	- 186.845,73	- 193.974,63	- 194.924,72	- 195.426,42	- 184.805,29	- 164.327,81	- 128.373,71	- 76.724,16
Revenu net par producteur	- 437,79	- 289,59	- 237,80	- 197,92	- 165,98	- 111,60	- 64,21	- 56,70	- 19,80	- 2,18	- 0,96	- 16,86	- 27,30	- 39,95	- 47,82

E.1.8 Résumé comparatif des scénarios



Indicateurs	Pessimiste (P)	Neutre (N)	Optimiste (O)	P-P-N	P-N-O	N-N-O	N-O-O
Besoin en financement	€ 329.002,96	€ 227.625,95	€ 180.866,77	€ 253.266,26	€ 225.013,31	€ 218.910,09	€ 195.426,42
Breakevenpoint	Après 15 ans	Année 11	Année 9	Année 12	Année 11	Année 11	Année 11
Revenu net par producteur A1	-557,03 €	-437,77 €	-433,39 €	-441,77 €	-441,77 €	-437,79 €	-437,79 €
Revenu net par producteur A15	-1,37 €	29,33 €	49,23 €	29,23 €	45,25 €	47,82 €	47,82 €

E.2 Social Return On Investment

E.2.1 Hypothèses

Cette annexe reprend toutes les hypothèses que nous avons émises afin de réaliser la carte de l'impact social. Pour se faire, les données du plan financier "Pessimiste - Neutre - Optimiste " ont été utilisées. Nous mesurons donc les changements produits lors de l'année 15.

- **Le nombre de producteurs :** Nous avons estimé un total de 5970 producteurs bio répartis au sein de 398 groupements (15 personnes par groupe).
- **Le nombre de tonnes de coton produites :** La production totale s'élève à 2686 tonnes et le prix au kg utilisé est celui de l'année 2008 (Prix/kg = 0,459 € + Prime/kg = 0,05 €). La quantité est déterminée par une quantité moyenne produite par producteur.
- **La proportion de producteurs bio, bt et conventionnel :** Sur les 5970 agriculteurs visés, nous avons estimé que 2985 étaient déjà dans la culture bio contre 2985 (bt et conventionnel confondu) en cours de conversion. Cette proportion a été choisie par facilité. L'horizon temporel étant assez lointain, il aurait été hasardeux d'être plus précis.

Parmi les producteurs bios, 10% sont des anciens producteurs bt et 90% sont des conventionnels. En l'absence de données chiffrées, nous avons considéré cette proportion : à l'heure actuelle les agriculteurs bio sont tous des anciens producteurs de coton conventionnels. Et nous supposons que les producteurs de 2015 vont rester dans la culture biologique.

Parmi les producteurs en cours de conversion, nous avons estimé que 70% d'entre eux sont des anciens bt, et donc 30% des anciens producteurs de coton conventionnel. Nous avons choisi cette proportion sur base de l'échec de la première variété de coton bt qui sera utilisé comme tremplin par la filière bio pour attirer de nouveaux producteurs.

- **Salaire :** Le salaire moyen d'une personne ayant un diplôme universitaire au Burkina Faso est de 150 000 FCFA (229€).
- **Stagiaires :** Koobo ne les rémunère pas. Nous supposons qu'ils vivent sur leurs économies personnelles ou qu'ils sont bénéficiaires d'une bourse. Nous supposons qu'un stagiaire coûterait 700€/ mois à Koobo.
- **Encadrement :** Nous considérons que le suivi des producteurs aura lieu durant 1 an soit le cycle de la récolte. Toutefois, le temps d'encadrement dépend largement du projet agroécologique mis en place et la fréquence des rencontres doit être établie entre l'agronome et le groupement de producteurs.
- **Indicateur de la santé :** Afin de déterminer le poids mort, nous avons utilisé le taux de couverture vaccinale du Burkina Faso consultable à la figure E.2, faute d'indicateur plus précis

sur la santé des agriculteurs.

Nous avons attribué 80% du changement à des facteurs externes à notre projet. Par exemple, le gouvernement burkinabé a investi 6,4% du PIB en dépense pour la santé (Banque Mondiale, 2015).

- **Les formations** : Pour tout type de formations et tout type de producteur, nous avons estimé que le résultat s'estompe de 40% chaque année (p. ex. lorsque les modules de formations et la campagne sont terminés, les agriculteurs ont moins l'occasion d'appliquer leurs connaissances au quotidien).
- **Accès aux services de microfinance** : Et plus particulièrement au crédit. Nous avons calculé un poids mort de 0%. Nous considérons que sans notre intervention, les agriculteurs de coton biologique n'auraient pas eu accès à ces prêts. En effet, selon l'étude d'impact d'Helvetas (2008), la majorité des producteurs interrogés déplorent un manque de source de financement pour se procurer des outils nécessaires à la culture biologique (p. ex. matériel pour transporter la fumure organique).

Ensuite, les producteurs bt et conventionnels n'ont pas accès au crédit de façon libre. Ils doivent passer par les sociétés cotonnières pour recevoir des crédits destinés à l'achat des intrants. Puis, ceux-ci sont déduits sur les bénéfices de la récolte. C'est pourquoi nous considérons que sans Koobo, ces personnes n'ont pas accès aux services de microfinance.

Nous attribuons 66% de l'accès au microcrédit à des facteurs externes à Koobo. Notre partenaire financier jouera un rôle important à cet égard, et ce, même s'il n'assure pas le suivi des clients lui-même. Ensuite, dans le cas où l'agriculture biologique se ferait à une plus grande échelle, nous pouvons supposer une facilité d'accès aux services de microfinance, car les producteurs forment des groupements (c.-à-d. possibilité de former une caution solidaire). De plus, une des principales barrières à l'accès à des prêts est que les organismes de microfinance sont proches des centres urbains et ne focalisent pas leurs activités sur le secteur primaire. Ainsi, si ce segment devient plus important, en raison de leurs revenus plus importants que les autres catégories de producteurs, nous pouvons supposer un intérêt croissant des organismes.

- **Augmentation des quantités de coton-graine** : Nous considérons que 40% de la production aurait augmenté sans l'intervention de Koobo, car l'UNPCB recherche à étendre les zones de production de coton biologique et à attirer de nouveaux producteurs. De même, nous avons calculé un poids mort de 37,5% au sujet de l'extension du label bio. Ensuite, nous avons attribué 60% du changement à des acteurs externes. C'est Helvetas et l'UNPCB qui ont initié le programme coton en 2004, nous estimons que ces parties prenantes auront encore beaucoup d'influence dans le futur. Dès lors, l'impact net relatif à l'augmentation de la taille de la production est 0 sur notre carte.
- **Intégration du coton bio dans les chaînes de production** des grandes marques textiles :

Nous pensons que sans l'intervention de Koobo, l'intégration du coton bio dans leur chaîne de création de valeur aurait augmenté de 19%. Cette estimation est visible sur la figure E.1 basée sur une moyenne annuelle de la consommation du coton biologique de plusieurs marques entre 1998 et 2006.

- **Taux de conversion :** Toutes nos données en termes de prix en FCFA ont été converties en Euros au taux du 25 mai 2015.

Entreprise	Pays	1998	1999	2000	2001	2004	2006
American Apparel	États-Unis	–	–	–	–	n/d	100
Avanti Inc.	Japon	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	150
C&A	Pays-Bas	–	–	–	–	–	50
Coop Italie	Italie	–	–	–	–	50	85
Coop Suisse	Suisse	400	500	500	600	1 000	1 428
Cutter & Buck	États-Unis	–	–	–	–	150	–
Hanna Andersson	Suède	–	–	–	–	130	250
Hennes & Mauritz	Suède	–	–	–	–	–	50
Hess Natur	Allemagne	250	280	300	175	200	250
Levi's	États-Unis	150	175	–	–	–	150
Marks & Spencer	Royaume-Uni	–	–	–	–	40	100
Migros	Suisse	–	–	–	50	100	500
Monoprix	France	–	–	–	–	50	183
Mountain Equip. Coop	Canada	–	–	–	–	100	100
Next	Royaume-Uni	–	–	–	–	–	50
Nike	États-Unis	113	145	382	450	1 350	3 447
Nordstrom	États-Unis	–	–	–	–	–	50
Of The Earth	États-Unis	–	–	–	–	330	500
OTTO-Versand	Allemagne	50	150	523	533	290	300
Patagonia	États-Unis	650	650	650	650	650	650
Sam's Club	États-Unis	–	–	–	–	86	100
Switcher	Suisse	–	–	–	–	n/a	150
Timberland	États-Unis	–	–	–	–	76	103
Wal-Mart	États-Unis	–	–	–	–	–	4 535
Whole Foods	États-Unis	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	150
Woolworths	Afrique du Sud	–	–	–	–	50	100
Total		1 613	1 900	2 335	2 458	4 602	13 411

FIGURE E.1 – Consommation de fibre de coton biologique par principales entreprises de textiles et de vêtements entre 1998 et 2006 (Source : Intracen)

Années	Taux de couverture vaccinale BCG	Taux de couverture vaccinale DTCPolio3	Taux de couverture vaccinale Rougeole	Taux de couverture vaccinale Fièvre jaune	Taux de prévalence VIH/SIDA	Taux d'accouchement assisté
2000	78,6	56,0	57,7	55,0	5,4	
2001	84,5	64,3	65,4	52,0	4,8	
2002	91,0	69,5	64,6	61,9	4,4	35,9
2003	86,3	78,3	70,1	66,3	2,7	30,9
2004	109,7 ¹	87,7	77,8	75,5	2,4	33,49
2005	111,7	96,3	84,0	84,1	2,2	37,67
2006	103	95,3	88,1	88,1	2,01	42,9
2007	107,5	ND	93,9	93,6	2,0	53,98
2008	108,6	ND	100,7	100,8	1,7	61,5

FIGURE E.2 – Évolution des taux de couvertures vaccinales au Burkina Faso (Source : DGEP, 2009).

	Conventional cotton	Bt Cotton	Organic fairtrade cotton
Average yield	997 kg/ha	1,178 kg/ha	500 kg/ha
Price paid to producer ¹¹	175 Fcfa (\$0.35)	175 Fcfa (\$0.35)	272 Fcfa plus 34 Fcfa development premium (\$0.54 plus \$0.07)
Cost of seeds	4,440 Fcfa (\$8.88)	33,000 Fcfa (\$69.50)	0
Cost of insecticide	6 treatments of 6,500 Fcfa each: 39,000 Fcfa (\$78)	2 treatments of 6,500 Fcfa each: 13,000 Fcfa (\$26)	0
Cost of fertilizer	84,145 Fcfa (\$168.29)	84,145 Fcfa (\$168.29)	0
Net revenue per hectare	51,330 Fcfa (\$102.66)	71,000 Fcfa (\$148.51)	136,000 Fcfa plus 17,000 Fcfa towards community development (\$272 plus \$34)

FIGURE E.3 – Comparaison du coût des intrants selon le type de culture coton (Source : Coulter, 2009).

E.2.2 Carte de l'impact social

SROI - Carte des impacts

Nom de l'organisation	Koobo	Date impact	Après 15 ans d'activités
Mission (s)	Contribuer à l'amélioration de la qualité des sols et à l'amélioration des conditions de vie des producteurs de coton au Burkina Faso, à l'aide de trois services : un accès facilité aux services de microfinance, des formations aux notions de base en gestion ainsi qu'un accompagnement technique visant à l'implémentation de pratiques agroécologiques innovantes		
	Analyse prévisionnelle concernant 5970 producteurs burkinabés sur 1 an (récolte)		

ÉTAPE 1		ÉTAPE 2				
Parties prenantes	Changements vécus	Contributions		Valeur (€)	Réalisations	
		Description				Description
Sur qui avons-nous un impact ? Qui a un impact sur nous ?	Que pensons-nous changer pour eux ?	Que nous apportent-ils ?	Combien vaut ce qu'ils nous apportent ?	Qu'est-ce qui est fait concrètement	Comment décrivions-nous ce que le projet a changé pour eux ?	
Producteurs de coton bio	-Formations en gestion et en techniques agroécologiques -Accès à des services de microfinance	Rémunération	15€*2985=44 775€ 0€	Modules de formations en gestion Modules de formations en techniques agroécologiques	-Mise à profit des connaissances managériales et agroécologiques pour augmenter la productivité de leur exploitation -Amélioration de la santé des cultivateurs et de celle de leur famille -Accès à des prêts	
	- Accès à l'agriculture biologique via un appui durant la transition -Accès à des services de microfinance - Formations en gestion et en techniques agroécologiques (adaptés à la transition)	/	0€		-Mise à profit des connaissances managériales et agroécologiques pour augmenter la productivité de leur exploitation -Amélioration de la santé des cultivateurs et de celle de leur famille -Accès à des prêts	
Producteurs de coton bio et traditionnel		Rémunération	0€ 15€*2985=44 775€	Modules adaptés pour les producteurs en transition		
Sociétés cotonnières	-Augmentation de la quantité de coton-graine biologique à égrener	/	0€		-Traitement d'un nombre croissant de coton-graines	
UNPCB	-Augmentation du nombre d'agriculteurs bio -Renforcement du dispositif de conseils et d'appui aux cotonculteurs -Accès à un pool de stagiaires de l'UCL	Temps	0€ 12 600€ (3 stagiaires non-rémunérés)		-Extension du label bio-équitable -Conseils et appuis facilités grâce à la présence de Koobo	
	-Apport de nouveaux clients -Endossement du risque par Koobo -Suivi des projets par Koobo	/	0€		-Prêts à de nouveaux clients dans les zones rurales -Délégation de la prise de risque à Koobo -Délégation du suivi des clients à Koobo	
Structure de microfinance partenaire		Commission de 2% sur le montant des prêts	0€ 8335€	Suivit des crédits		
Marques textiles partenaires	-Accès à de la matière première bio-équitable (coton) - Coordination de la production au Burkina Faso réalisée par Koobo et l'UNPCB	-Commission de 6% sur la valeur de la production -Prime	66 732€ 0€ (à déterminer)	Mise en place d'un partenariat avec les marques textiles et l'UNPCB (alliance)	-Intégration du bio et e l'équitable dans leur chaîne de création de valeur	

Résultats						
Indicateurs	Source	Quantité	Durée	Proxy financier	Valeur en €	Source
<i>Comment mesurer les changements constatés ?</i>	<i>Comment allons/avons-nous collecter(é) l'information ?</i>	<i>Quel est le résultat chiffré du changement ?</i>	<i>Combien d'années dure ce changement ?</i>	<i>Quel proxy utiliser pour valoriser économiquement le changement ?</i>	<i>Quelle est la valeur du changement constaté ?</i>	<i>Comment allons/avons-nous collecter(é) l'information sur cette valeur monétaire ?</i>
-Evaluation de la compréhension des producteurs par rapport aux thématiques de gestion (taux de réussite) + nombre de tonnes de coton produit	-Questionnaires ou entretiens + Sociétés cotonnières ou UNPCB	- n/a -2686 tonnes de coton	2 ans 1an	- Coûts liés à l'achat des intrants chimiques évités -Coûts liés à l'achat des semences bt évités	194.48€*2686=522 373€ 198.39€*298=59 219€	Données marché coton Données marché coton
-Coûts en médicaments économisés -Nombre de clients	-Producteurs -Base de données de la structure partenaire/Koobo	-n/a - 5970 clients	1an 1an			
-Evaluation de la compréhension des producteurs par rapport aux thématiques de gestion (taux de réussite) + nombre de tonnes de coton produit	- Questionnaires ou entretiens + Sociétés cotonnières ou UNPCB	- n/a -n/a	2 ans 1 an	-Coûts liés à la conversion générés (revenu net plus faible) - Coûts liés à l'achat des intrants chimiques évités	n/a 194.48€*895=174 059,6€	Helvetas/UNPCB Données marché coton
-Coûts en médicaments économisés -Nombre de clients	-Producteurs -Base de données de la structure partenaire/Koobo	-n/a -n/a	1an 1an	-Coûts liés à l'achat des semences bt évités	198.39€*2089=414 436€	Données marché coton
-Nombre de tonnes de coton graine traité	-Sociétés cotonnières	-2686 tonnes de coton g.	3 ans	-Prix de la tonne de coton-graine	Total : 1 112 211€	Plan financier Koobo
-Nombre de producteurs biologiques -Nombre de groupements par consultant	-UNPCB -Koobo et l'UNPCB	-5970 producteurs -50 :1	1 an 1an	-Coûts liés au ratio de producteurs par agent évités	n/a	Helvetas/UNPCB
-Nombre de clients -Management du risque -Coûts et temps économisés grâce au suivi réalisé par Koobo	-Base de données de la structure partenaire/Koobo -Structure partenaire -Structure partenaire	-5970 clients -n/a -n/a	1 an	-Coûts liés à la prise de risque et au suivi des clients évités -Manque à gagner évité via l'accès au prêts et donc à du matériel	n/a n/a	Structure de crédit partenaire Collecte d'informations auprès des producteurs
-Quantité de coton contractée	-Marques et Koobo	-2686 tonnes de coton graine	3 ans	-Augmentation des ventes de vêtements (en fonction de la demande) -Coûts liés aux intermédiaires dans la chaîne de production évités	n/a n/a	Marques textiles Marques textiles

Annexe 4 : Synthèse des impacts

Activité
Lieu de financement

Projet

Période concernée
Projet financé par

						Etapes 4 et 5 Analyse prévisionnelle		
Parties prenantes	Résultats	Poids mort	Attribution	Diminution	Impact net			
	Descriptions	%	%	%	%	Taux d'actualisation	3,5%	
		Que ce serait-il passer sans notre action ?	Quelle est la part du changement ne relevant pas de notre projet ?	Est-ce que le résultat peut s'amenuiser dans le temps ?	Quantité x proxy financier - (poids morts et attribution)	Année 1	2	3
Producteurs de coton bio	- Mise à profit des connaissances managériales et agroécologiques pour augmenter la productivité de leur exploitation - Amélioration de la santé des cultivateurs et de celle de leur famille - Accès à des prêts	0% 3% 0%	0% 80% 66%	40%	581 593€	581 593€	348 955,8€	0€
Producteurs de coton bio et traditionnel	- Mise à profit des connaissances managériales et agroécologiques pour augmenter la productivité de leur exploitation - Amélioration de la santé des cultivateurs et de celle de leur famille - Accès à des prêts	0% 3% 0%	0% 80% 66%	40%	588 495€	588 495€	353 097€	0€
Sociétés cotonnières	- Traitement d'un nombre croissant de coton-graines	40%	60%	0%	0€	0€	0€	0€
UNPCB	- Extension du label bio-équitable - Conseils et appuis facilités grâce à la présence de Koobo	37.5% 0%	(déjà inclus dans poids mort) 0%					
Structure de microfinance partenaire	- Prêts à de nouveaux clients dans les zones rurales - Délégation de la prise de risque à Koobo - Délégation du suivi des clients à Koobo	n / a 0% 0%	 0% 0%					
Marques textiles partenaires	- Intégration du bio et de l'équitable dans leur chaîne de création de valeur	19%	60%	0%				
				TOTAL	1 309 114 €	1 170 087€	702 052€	0€

PV	698 414€	404 877€	0€
Total PV			1 103 292€
VP nette			988 335€
Retour social pour 1€			8,59€

Annexe F

Entretiens réalisés au Burkina Faso

F.1 Rencontres avec les Groupements de producteurs de coton

F.1.1 Grille d'entretien

Thème 1 : Présentations

1. Quel est le nom de votre groupement ?
2. Quel type de coton produisez-vous ?
3. Quel est le poids de votre récolte pour combien d'hectares ?
4. Combien d'agriculteurs composent le groupement ?
5. Quelles cultures pratiquez-vous en rotation avec le coton ?

Thème 2 : Culture

6. Quelles techniques agricoles utilisez-vous ? (outillage, matériel)
7. Que faites-vous des déchets de culture ?
8. Quels sont les principaux ravageurs/maladies que vous rencontrez sur les champs de coton ?
9. Quels sont les plus grands risques pour la récolte ?
10. Y a-t-il de la coopération entre les agriculteurs au niveau de la main-d'œuvre ?

Thème 3 : Fertilisants et Pesticides

11. Appliquez-vous des fertilisants et/ou des pesticides sur les plans de coton ?
12. Quelle quantité ? Nom du produit ?
13. À quelle fréquence devez-vous appliquer les produits ?
14. Appliquez-vous d'autres produits (compost, etc.) sur les sols ? Si oui, où vous les procurez-vous ?
15. Utilisez-vous des protections lorsque vous appliquez les produits chimiques ? (masques, autres)
Si oui, où vous les procurez-vous ?
16. Avez-vous conscience de l'impact négatif des produits chimiques sur l'environnement ?

Thème 4 : Environnement

17. Avez-vous facilement accès aux ressources en bois ? Y en a-t-il en suffisance ?

18. Avez-vous un système d'irrigation pour vos parcelles ?
La pluviométrie est-elle suffisante ou stockez-vous de l'eau ?
19. Y a-t-il des arbres sur vos parcelles ? Si oui, lesquels ? Quels avantages apportent-ils ?
20. Quels sont les principaux pollinisateurs ? (Quels insectes voyez-vous le plus sur vos champs ?
21. Utilisez-vous de la fumure organique ?
22. Le bétail a-t-il accès aux champs ?

Thème 5 : SOFITEX

23. Commercez-vous avec la SOFITEX ?
24. Quels avantages tirez-vous de cette situation ?
25. Quels sont les inconvénients ?
26. Comprenez-vous le mécanisme de fixation des prix du coton et des intrants ?
27. Calculez-vous vos coûts et vos profits ?
28. Considérez-vous que vous obtenez un juste retour de la SOFITEX ?
29. Avez-vous déjà eu des problèmes avec la SOFITEX ?
30. Avez-vous déjà envisagé d'arrêter de travailler avec la SOFITEX ?
31. Quels seraient les avantages et difficultés dans le cas où vous arrêteriez la collaboration ?
32. S'il y avait d'autres acheteurs que la SOFITEX, commerceriez-vous avec ces acheteurs ?

Thème 6 : Coton Bio

33. Qui sont vos acheteurs et comment entrez-vous en contact avec eux ?
34. Quels sont les avantages et inconvénients de ne pas travailler avec la SOFITEX ?
35. Comment vous procurez-vous les intrants ? Crédits ?
36. Comment est produit le coton bio ?
37. Quelles sont les différences avec le coton conventionnel ?

Thème 7 : Administratif

38. Combien d'agriculteurs dans votre groupement savent lire et écrire ?
39. Comment s'organise la signature des contrats avec la SOFITEX ?
Tout le monde comprend-il le contenu des contrats ?
40. Les revenus du coton sont-ils redistribués au village ? (À ceux qui ne produisent pas de coton ?)

Thème 8 : Biochar

(Explications et présentation des résultats obtenus)

41. Qu'en pensez-vous ?
42. Sous quelles conditions seriez-vous prêts à adopter cette technique ?

F.1.2 Tableaux de réponses

Village 1

Questions	Village 1					
Thème 1 : Présentation						
1. Nom du/des groupements	KOANA	DJIGA	CAMPDABO	KUINI	SOUKOURLAYE	WENDRATA
2. Type de coton	BT	BT	BT	BT Conventionnel	BT	BT
3. Poids-hectares	250 t – 230 ha.	73 t – 70 ha	113 t – 100 ha	53 t – 51 ha	61 t – 52 ha	15 t – 10 ha
4. Nbre producteurs	60 prod.	14 prod.	40 prod.	26 prod.	20 prod.	12 prod.
5. Cultures en rotation	Maïs, sorgho, arachide, haricots, ou pas de rotation					
Thème 2 : Culture						
6. outillage/matériel	- Certains ont des animaux, très peu de tracteurs. - Le travail se fait à la main pour la plupart.					
7. Valorisation déchets	- Ils coupent les tigent, les mettent dans un trou qu'ils arrosent pour obtenir de la fumure organique quis épandent ensuite sur les champs . - Ils brulent les tigent sur les champs - Les femmes coupent les tiges en morceau et les mettent en sacs qu'elles vendent 20FCFA/Kg. Ils ne savent pas pourquoi les gens achètent ça, mais ça se vend. - Les femmes brulent les tiges pour en faire de la potasse.					
8. ravageurs/maladies	Mouche blanche, chenilles qui mangent les feuilles, les fleurs et parfois les capsules.					
9. risques	- Les insectes qui dévorent les fleurs et les capsules - La mouche blanche qui suce le liquide dont la plante à besoin pour grandir - Le feu - Dégats causés par le bétail - Produits toxiques					
10. Entraide	- Il y a de l'entraide mais souvent de manière indirecte, parce que ce n'est pas gratuit. Il faut donner à manger. - Main d'œuvre : 500 FCFA / personne / jour					

Thème 3 : Fertilisants et Pesticides	
11. Produits chimiques ?	- Engrais : Kcl, urée - Pesticides
12. Nom et quantité	Pas mentionné
13. Fréquence d'application	Pas mentionné
14. Autres produits ?	- Fumure organique produite par les agriculteurs
15. Protections	- Après avoir appliqué l'engrais, certains ne se lavent pas les mains et vont manger. - Ils rentrent entièrement dans les sacs de produits chimiques pour mélanger. - Au départ la sofitec donnait tout (protections, lait, savon, gants, bottes etc.), mais pour une raison où l'autre, la SOFITEX a arrêté.
16. Conscience de l'impact	- Ils savent, mais ils n'ont pas d'autres solutions. Les terriers ne produisent plus comme avant.
Thème 4. Environnement	
17. Ressources en bois	- Pas assez de bois. Les femmes doivent même utiliser les tiges de coton et de mil pour préparer les repas.
18. Eau	- Il n'y a pas de système d'irrigation. - Parfois la quantité d'eau sur l'année est suffisante, mais c'est mal réparti. On peut dire que cette année, la pluviométrie est relativement bonne.
19. Arbres	- La norme demandée est d'avoir 10 pieds d'arbres par hectare. Mais maintenant il n'y a plus que 12 arbres par hectare. - Ce sont souvent des arbres fruitiers pour le commerce. - Les feuilles de certains arbres rendent le sol plus fertile, mais d'autres sont une catastrophe. - Parfois ils doivent déraciner les arbres, parce que les charues ne passent pas.
20. Pollinisateurs	- Papillons, abeilles, oiseaux qui mangent les chenilles, araignées et mouches blanches.
21. Fumure organique	Oui
22. Accès bétail	Oui

Thème 5 : SOFITEX	
23. Partenaire	Oui
24. Avantages	- Accès au crédit pour acheter les intrants et même les équipements agricoles.
25. Inconvénients	- Coût trop élevé des intrants. Ils trouvent que les semences sont le plus gros problème, parce que c'est eux qui les produisent et ils doivent les racheter ensuite à la SOFITEX à un prix très élevé. - Le prix du coton est trop faible.
26. Mécanisme Prix	- Ils ne comprennent pas mais selon eux ça dépend du cours mondial.
27. Comptabilité	- Ils calculent le coût des intrants, mais ils ne font pas un compte d'exploitation etc. Tout le monde n'a pas la même superficie et les mêmes revenus. Ça pose des difficultés.
28. Juste retour	Non
29. conflits avec la SOFITEX	- Oui, à cause du mécanisme de la caution solidaire. Il y a des membres qui doivent de l'argent au groupement, d'autres qui doivent en recevoir. Cependant ils se rendent compte que c'est grâce à la caution solidaire qu'ils peuvent recevoir un crédit.
30. Stop SOFITEX ?	- Oui, tout le monde a déjà envisagé d'arrêter de travailler avec la SOFITEX.
31. + et – d'une autre alternative	- Il n'y a pas d'autres solutions que la SOFITEX. Avant ils étaient plus de producteurs, mais il y en a beaucoup qui abandonnent le coton. - Ils sont intéressés par la culture du sésame, mais la filière est mal organisée.
32. Autres acheteurs ?	- Oui, ils seraient ok de vendre leur coton à d'autres acheteurs, si ils fournissent des intrants moins chers et qu'ils offrent de meilleurs revenus. - Si des acheteurs extérieurs viennent acheter uniquement le coton, beaucoup pourraient payer les intrants avec leurs fonds. - Selon eux, jamais le gouvernement ne laissera des acheteurs externes intégrer le marché.
Thème 6 : Coton bio	
	- Ils savent que le coton bio paye mieux, mais il n'ont pas la chance d'en produire dans leur zone.
Thème 7 : Administratif	
39. Producteurs éduqués	- 10% savent lire et écrire.
40. Contrats	- Le président, le secrétaire et le trésorier du Groupement sont appelés pour aller signer le contrat.
41. Compréhension	- Ils n'ont pas le temps de lire et de comprendre le contrat avant de devoir le signer.
42. Distribution des revenus	- Les bénéfices sont versés sur le compte du GPC. Les 3 responsables retirent l'argent et répartissent les revenus entre les producteurs selon leurs productions, dettes, etc. - Les bénéfices restant couvrent les frais de déplacement des responsables, et sont là pour aider les membres en difficulté. - La prime de 4200 FCFA est utilisée pour payer les assurances, les frais de fonctionnement et la location des balances pour le GPC.

Thème 8 : Biochar	
42 et 43. Avis.	- Ils sont intéressés, mais plusieurs missions sont déjà venues à leur rencontre, et aucun des projets n'a abouti. Donc ils sont méfiants par rapport à l'exécution du projet biochar.

Villages 2 et 3

Questions	Village 2	Village 3
Thème 1 : Présentation		
1. Nom du/des groupements	AMBIERE YANES	COSAMBLA
2. Type de coton	Conventionnel	Bt
3. Poids-hectares	18,863 t – 20 ha	18 t – 18 ha
4. Nbre producteurs	19	18
5. Cultures en rotation	Sorgho et maïs pour profiter des engrais du coton	Maïs, sorgho, mil. Ils metent la terre en jachère uniquement lorsque ça va mal.
Thème 2 : Culture		
6. outillage/matériel	À la main. Avant ils avaient des charrues mais c'est érimé.	Tracteurs et animaux Travail à la main pour la plupart.
7. Valorisation déchets	Ils arrachent les tiges de coton, les mettent en tas et les brûlent	Ils coupent les tiges et les brûlent au mois d'avril-mai
8. ravageurs/maladies	Mouche blanche pour le coton. Rongeurs et oiseaux pour le maïs.	Mouches blanches, chenilles (quand c'est perforé, sinon ils ne savent pas quel est le ravageur)
9. risques	Pluviométrie Engrais (si pas assez en quantité) Herbicides (si pas assez de temps pour les appliquer)	Feux de brousse Animaux qui piétinent les champs
10. Entraide	Chacun s'occupe de son champ mais association avec les autres groupements et aide des femmes pour la récolte.	Quand ils ont un peu d'argent, ils prennent de la main d'œuvre, sinon la famille aide un peu.

Thème 3 : Fertilisants et Pesticides		
11. Produits chimiques ?	Oui	oui
12. Nom et quantité	NPK (20° jour) : 3 sacs par hectare Urée : 1 sac par hectare Pesticides	Insecticides : 2l/ha Herbicides : 2 à 3l/ha Engrais NPK et urée : 3 sacs/ha
13. Fréquence d'application	Pesticides : à appliquer 6 fois	Insecticides : 3 traitements Herbicides : 1 ou 2 fois NPK : 1 fois Urée : 1 fois
14. Autres produits ?	Pas de compost. Problème de transport pour les engrais minéraux. Il n'y a pas de charrettes.	Non, pas de compost parce que pas de charrettes.
15. Protections	Pas de masque ou de protections	C'est conseillé mais peu en portent. Ils doivent acheter eux-mêmes les protections.
16. Conscience de l'impact	Il ne savent pas	Oui ils en ont conscience mais ils n'ont pas le choix d'en utiliser parce qu'ils ne peuvent pas transporter les produits organiques.

Thème 5 : SOFITEX		
23. Partenaire	Oui	Oui.
24. Avantages	L'achat de fertilisants qui bénéficient au maïs. Pas de réels avantages pour le coton. La SOFITEX permet de produire le coton et vendre en groupé pour investir. Permet d'investir dans des machines	Pas d'avantages
25. Inconvénients	Pas mentionné	Le prix des intrants est trop élevé et le prix d'achat du coton n'est pas assez élevé. Le fait d'acheter chaque année les semences qu'ils ont pourtant produit l'année d'avant est un problème également.
26. Mécanisme Prix	Ils ne comprennent pas	Un responsable de la SOFITEX vient dans le village expliquer les prix, mais ils ne comprennent pas
27. Comptabilité	Ils ne savent pas ce que c'est un compte d'exploitation. Ils ne font que le minimum requis pour la SOFITEX	Non
28. Juste retour	Non	Non
29. conflits avec la SOFITEX	Non pas de problème avec la SOFITEX depuis le 13 avril 1993 (date de création du groupement)	Non
30. Stop SOFITEX ?	Non ils n'ont jamais envisagé d'arrêter.	Non
31. + et – d'une autre alternative	/	/
32. Autres acheteurs ?	/	/
Thème 6 : Coton Bio		
		Ils ne produisent pas de bio parce qu'ils n'ont pas le matériel nécessaire. C'est plus facile de transporter des sacs d'engrais que de la fumure organique. Le prix de vente du bio est plus élevé.

Thème 7 : Administratif		
39. Producteurs éduqués	4/5 parlent français.	4 producteurs sur les 18 membres.
40. Contrats	Le contrat est signé par le président.	Le contrat est signé par le président.
41. Compréhension	Le président explique le contrat au groupement.	/
42. Distribution des revenus	Les revenus ne sont pas partagés à la communauté.	Les revenus ne sont pas partagés à la communauté.
Thème 8 : Biochar		
42 et 43. Avis.	Dans tous les cas ils doivent arracher les tiges de coton. Ca peut donc être intéressant vis-à-vis de l'enrichissement des sols. Ils pourront acheter moins d'engrais qui sont très chers.	Le problème c'est qu'il faut de l'outillage. Ils veulent connaître le prix du four Ils mettraient le four à côté du champ, comme ça il n'y a pas de problème de transport.

Village 4

Questions	Village 4					
Thème 1 : Présentation						
1. Nom du/des groupements	WOURUDGI	SIRIE	TOWE	ZARAKODY	KIRESSERE	SOGNES
2. Type de coton	BT Conventionnel	BT Conventionnel	BT Conventionnel	BT Conventionnel	BT Conventionnel	BT Conventionnel
3. Poids-hectares	200 t – 285 ha.	/	354 t – 360 ha	157 t – 147 ha	75 t – 73 ha	181 t – 180 ha
4. Néré producteurs	26 prod.	23 prod.	40 prod.	19 prod.	20 prod.	14 prod.
5. Cultures en rotation	Maïs ou sorgho					
Thème 2 : Culture						
6. outillage/matériel	- Tracteurs, bœufs et charrues - Peu travaillent uniquement à la main					
7. Valorisation déchets	- Ils brûlent les tiges de coton - Ils transforment les tiges du mil en fumure organique - Les tiges de maïs sont pour les bœufs					
8. ravageurs/maladies	- Chenilles qui dévorent les feuilles et perforent les coques. - Piqueurs-suceurs qui piquent les tiges et les feuilles et donnent des maladies - Mouche blanche - Maladies : Verticilliose - Virescence florale (transforme les capsules en fleurs)					
9. risques	- Pluviométrie excédentaire ou insuffisante - Le bétail qui piétine les champs. Ca entraîne d'ailleurs des conflits - Gestion de l'enherbement					
10. Entraide	- Entraide entre les agriculteurs et entre groupement - Emploi de main d'œuvre quand c'est possible financièrement.					

Thème 3 : Fertilisants et Pesticides	
11. Produits chimiques ?	Oui
12. Nom et quantité	- Herbicides 1kg/ha ou 3l/ha - NPK : 150kg/ha ou 200kg si le producteur a les moyens. - Urée : 50 kg/ha - KCl : 50kg/ha
13. Fréquence d'application	- Herbicides : 2 fois - Fertilisants : ça dépend des champs
14. Autres produits ?	Compost
15. Protections	- Pas de protections spécifiques mais chemise à manches longues et long pantalon. La majorité a des bottes et des masques à poussière jetable. - La tenue adaptée coûte 55 000 FCFA. C'est trop cher
16. Conscience de l'impact	Ils ne savent pas, mais ils observent la dégradation des sols. Il faut mettre de plus en plus d'engrais.
Thème 4. Environnement	
17. Ressources en bois	- Plus de difficultés pour en trouver qu'avant. - Les agent du ministère de l'environnement interviennent pour empêcher les agriculteurs de tout couper.
18. Eau	Il n'y a pas de système d'irrigation.
19. Arbres	- Karité : les femme utilisent la noix pour faire de l'huile - Néré - Sous les arbres, à cause de l'ombre, le rendement est moins bon.
20. Pollinisateurs	Papillons, mouches blanches, abeilles, distercus. « On les voit, mais on ne connaît pas les noms ».
21. Fumure organique	Oui du compost
22. Accès bétail	Oui

Thème 5 : SOFITEX	
23. Partenaire	Oui
24. Avantages	- Gros crédit d'environ 40 millions de FCFA par an - Amélioration des conditions de vie - Équipement : tracteurs payés par la SOFITEX.
25. Inconvénients	- Caution solidaire. - Ceux qui n'arrivent pas à rembourser - le prix des intrants grimpe - Le prix du coton est trop bas
26. Mécanisme Prix	Ils ne comprennent pas.
27. Comptabilité	Les responsables savent calculer les couts et les profits
28. Juste retour	Non
29. conflits avec la SOFITEX	(agent de la SOFITEX présent lors de l'interview) Malaise et pas de réponse
30. Stop SOFITEX ?	La SOFITEX a le monopole donc c'est difficile d'arrêter de travailler avec elle.
31. + et - d'une autre alternative	Ils n'y ont jamais pensé
32. Autres acheteurs ?	/
Thème 6 : Coton bio	
	/
Thème 7 : Administratif	
39. Producteurs éduqués	Une minorité.
40. Contrats	Le président, le secrétaire et le trésorier du Groupement sont appelés pour aller signer les conventions de crédit
41. Compréhension	/
42. Distribution des revenus	- Ils investissent dans l'éducation, la santé, la construction de magasins. - Une faible proportion des revenus peut être investie.
Thème 8 : Biochar	
42 et 43. Avis.	Pas de problème. Ils ont envie de valoriser les déchets.

□

Village 5

Questions	Village 5			
Thème 1 : Présentation				
1. Nom du/des groupements	FIAN-FIAN	YRA	LANAYA	SOGOSSOUMARA
2. Type de coton	BT	BT	BT	BT
3. Poids-hectares	68 t – 77 ha.	95 t – 107 ha	40 t – 68 ha	46 t – 54 ha
4. Nbre producteurs	18 prod.	27 prod.	20 prod.	27 prod.
5. Cultures en rotation	Maïs, sorgho et coton			
Thème 2 : Culture				
6. Outillage/matériel	Tracteurs et traction animale, mais surtout à la main			
7. Valorisation déchets	Ils coupent les tiges les brûlent ensuite. « C'est très encombrant »			
8. Ravageurs/maladies	Mouche blanche, chenilles qui mangent les feuilles, les fleurs et parfois les capsules.			
9. Risques	/			
10. Entraide	/			
Thème 3 : Fertilisants et Pesticides				
11. Produits chimiques ?	Ils se les procurent auprès de la SOFITEK et de l'UNPCB			
12. Nom et quantité	Pas mentionné			
13. Fréquence d'application	Pas mentionné			
14. Autres produits ?	Pas mentionné			
15. Protections	Les protections sont vues comme une dépense inutile			
16. Conscience de l'impact	Certains sont conscients des impacts mais il n'ont pas de moyen pour agir.			
Thème 4. Environnement				
Thème pas abordé.				

Thème 5 : SOFITEK	
23. Partenaire	Oui
24. Avantages	Le seul avantage ce sont les engrais pour le maïs.
25. Inconvénients	- Le coton n'est pas rentable, il faut du coton seulement pour les engrais du maïs. - Les herbicides causent la mort de leur bétail - Le prix du coton burkinabé est le plus bas d'Afrique et les intrants sont les plus chers. Si on utilise des autres engrais, la SOFITEK décline le coton.
26. Mécanisme Prix	Ils ne comprennent pas pourquoi les prix varient. Ils ont un représentant qui participe à la négociation des prix (UNPCB), mais ils sont tous corrompus.
27. Comptabilité	Pas mentionné
28. Juste retour	Non
29. conflits avec la SOFITEK	Oui, en 2011 ils ont refusé de produire le coton. La SOFITEK les a convoqués à Ouagadougou et les a menacés. La SOFITEK a fait pression en leur disant qu'ils allaient détruire le pays. Donc ils ont tout de même produit pour leur pays.
30. Stop SOFITEK ?	Oui, tout le temps ils y pensent.
31. + et – d'une autre alternative	Il n'y a pas d'autres solutions que la SOFITEK.
32. Autres acheteurs ?	La SOFITEK a le monopole, c'est très dur de trouver des acheteurs externes
Thème 6 : Coton bio	
Thème pas abordé par manque de temps	
Thème 7 : Administratif	
Thème pas abordé par manque de temps.	
Thème 8 : Biochar	
42 et 43. Avis.	Le projet serait le bienvenu. Ça réduirait le coût des intrants.

Village 6

Questions		Village 6 Bio
Thème 1 : Présentation		
1. Nom du/des groupements		SIMALKIEN
2. Type de coton		Coton Bio
3. Poids-hectares		18 tonnes
4. Néré producteurs		17 producteurs
5. Cultures en rotation		légumineuses
Thème 2 : Culture		
6. outillage/matériel	-	Charrues et location de tracteurs (30 000 FCFA/heure)
7. Valorisation déchets	-	Ils brûlent les tiges de coton
8. ravageurs/maladies	-	Il n'y a pas vraiment de maladies qui attaquent le coton grâce à la rotation. - Pas encore de mouches blanches (ils cultivent depuis 2008)
9. risques	-	Le bétail qui piétine les champs. Ca entraîne d'ailleurs des conflits
10. Entraide	-	Entraide entre les agriculteurs et entre groupement
Thème 3 : Fertilisants et Pesticides		
11. Produits chimiques ?		Non
12. Nom et quantité		Fertilisants = fumure organique.
13. Fréquence d'application		Ils préparent la terre en octobre.
14. Autres produits ?		Ils coupent les tiges de mil et même de l'herbe et ils ajoutent de la terre normale. Ils mettent du compost. Ils ont de l'outillage pour transporter la fumure organique.
15. Protections		
16. Conscience de l'impact		Problème : proximité avec les champs conventionnel qui contaminent le bio (abeilles ou pluie). Il faut 100 mètre de distance entre les champs, mais comme il y a peu de terres c'est difficile de respecter cette distance.

Thème 4. Environnement	
17. Ressources en bois	- Pas assez de ressources en bois.
18. Eau	Il n'y a pas de système d'irrigation. La pluviométrie est un problème (il n'y a pas assez de pluie) Ils n'ont pas de système pour stocker l'eau.
19. Arbres	- Karité - Avantages : commerce bio - Ca bloque l'eau donc la fumure organique reste. -
20. Pollinisateurs	- Abeilles
21. Fumure organique	Oui
22. Accès bétail	Oui
Thème 5 : SOFITEX	
23. Partenaire	Non
Thème 6 : Coton bio	
33. Acheteurs	L'UNPCB s'occupe du programme bio. La production va vers Banfora. Egrainage à la SOFITEX (l'UNPCB n'a pas d'usine)
34. Avantages et Inconvénients	Le prix de la production biologique est le double de celui de la SOFITEX Grace aux primes équitables, ils construisent dans le village. Pas d'inconvénients.
35. Crédits	Il n'y a pas de crédits. Les semences ne coûtent pas cher et l'UNPCB paye pour les outils.
37. Différences	Le prix est plus élevé et on utilise de la fumure organique uniquement.
Thème 7 : Administratif	
39. Producteurs éduqués	Il y avait peu d'écoles quand ils étaient jeunes. 2 ou 3 savent écrire.
40. Contrats	Tout le monde signe le contrat.
41. Compréhension	Les techniciens de l'UNPCB viennent sur le terrain pour expliquer les contrats.
42. Distribution des revenus	- La prime équitable est investie dans des projets pour le village.

Thème 8 : Biochar	
42 et 43. Avis.	C'est super. Ils veulent essayer dès que nous serons prêts.

F.2 Rencontre avec l'UNPCB

Personne interviewée : Delphine Zoungrana/Ouedraogo

Fonction : Coordinatrice de l'Union Nationale de Producteurs de Coton du Burkina (UNPCB)

Pourriez-vous vous présenter et expliquer votre rôle au sein de l'UNPCB ?

Je suis Delphine Ouedraogo, la coordinatrice de l'UNPCB, qui est une organisation paysanne qui regroupe les producteurs de coton. C'est en fait la faïtière des producteurs de coton du Burkina. Et une équipe technique les accompagne dans l'exécution de leurs tâches et je suis la coordinatrice de cette équipe technique.

Quel genre d'activités l'UNPCB entreprend-elle avec les agriculteurs ?

L'UNPCB en tant que faïtière des producteurs de coton a pour principale mission de défendre les intérêts des producteurs de coton, au travers d'actions de plaidoyer, être leur porte-voix partout il y a des besoins et également développer des activités d'encadrement à l'égard des agriculteurs de coton, notamment l'encadrement des organisations de producteurs de coton, indirectement aux sociétés cotonnières qui encadrent la production comme la SOFITEX, mais la structuration des organisations de producteurs pour qu'elles soient plus fortes et qu'elles puissent mieux jouer leur rôle. Et l'autre fonction c'est l'encadrement : un rôle d'appui-conseil sur diverses thématiques comme le conseil des exploitations familiales, il y a eu des actions d'alphabétisation. Et l'UNPCB appuie également ses membres dans l'approvisionnement en intrants, notamment des intrants céréales parce que les intrants coton purs sont faits par les sociétés cotonnières.

Avez-vous un organigramme de l'organisation ?

L'UNPCB est structurée de la base au sommet. Au niveau village, on a les groupements de producteurs de coton (GPC) qui regroupent en moyenne 30 producteurs. Et les groupements se sont fédérés au niveau départemental. Là c'est le découpage administratif. Au niveau départemental, les groupements forment les unions départementales des producteurs de coton qui à leur tour au niveau provincial se fédèrent pour former les unions provinciales et ce sont les unions provinciales qui sont membres de l'UNPCB. Il y en a 28 actuellement qui sont en fait les 28 provinces productrices de coton au Burkina.

Vous avez des réunions hebdomadaires, ou mensuelles avec les producteurs qui les représentent ?

Au niveau délocalisé, il y a des rencontres qui sont organisées et au niveau de la Faïtière nationale l'assemblée générale est annuelle qui permet d'adopter les rapports et d'exécution technico-financière de l'année précédente et de valider le plan d'action pour l'année en cours. et l'assemblée générale est composée des représentants de chacune des provinces membres, et en plus de cela il y a d'autres organes, l'organe décisionnel et d'autres organes mis en place par l'assemblée générale : le conseil de gestion qui est l'organe exécutif et qui compte 10 membres. Il y a également 2 commissions spécialisées chargées des relations extérieures chargées des intrants et un comité de contrôle, ce qui fait les 4 organes de l'UNPCB. Ils ont des réunions plus régulières. Par exemple le conseil de gestion, c'est au moins chaque mois et parfois, selon les dossiers concernés c'est plus rapproché et c'est le

conseil de gestion qui recrute l'équipe technique. L'équipe technique est directement liée au conseil de gestion pour l'appuyer dans les différentes missions que l'assemblée générale lui confie et rendre compte à chaque assemblée générale. L'assemblée générale a une position centrale pour toutes les activités. C'est vraiment l'organe de décision.

En quoi consiste votre relation avec la SOFITEX ?

Au Burkina, les zones cotonnières sont bien distinctes. Nous avons des producteurs dans chacune des zones cotonnières. La zone SOFITEX a 16 provinces et la zone de l'est est gérée par une autre société, la SOCOMA avec des provinces membres de l'UNPCB. Il y a la zone centrale qui est gérée par FASO COTON. Au Burkina en plus de cette séparation des zones cotonnières, il y a un élément fort dans la filière qui est l'AICB, l'association interprofessionnelle du coton du Burkina, qui est l'organe de gestion de la filière. Et cette association regroupe les producteurs et les sociétés cotonnières en nombre égal. C'est ce total qui décide tout ce qui concerne l'organisation, la fixation des prix d'achat des intrants et du coton également.

L'UNPCB fait partie de l'AICB ?

Oui, il y a la famille des sociétés cotonnières et la famille productrices de coton, en nombre égal au niveau de l' AICB.

Quel est votre rôle en tant qu'actionnaire dans les 3 sociétés cotonnières ?

C'est pour mieux porter la voix des producteurs On est acteurs à part entière. Les sociétés cotonnières c'est vraiment une chaîne. Il ne s'agit pas seulement de produire. Il faut produire et vendre. S'il y a des difficultés au moment de la commercialisation, c'est plus facile à gérer étant donné la forte implication de l'UNPCB. Elle lui permet d'être au courant des réalités de la société cotonnière. C'est la même chose pour les 3 sociétés cotonnières.

Vous recevez des dividendes ?

Pour le moment non. La filière cotonnière revient de loin. Pour le moment il n'y a pas de bénéfices et conformément au texte de l'OHADA, la priorité est d'assainir le fonctionnement de la société cotonnière et de la rendre plus forte et ensuite on pourra penser aux dividendes. Même s'il n'y a pas de dividende le rôle est facilité par le conseil d'administration. C'est l'occasion de porter les préoccupations des producteurs pour chacune de ces sociétés cotonnières.

L'UNPCB participe-t-elle à la fixation du prix du coton. Si oui, comment ? Quel est votre rôle ?

L'UNPCB participe en tant que membre de l'AICB. C'est une décision prise par l'AICB. Donc les membres statutaires de l'AICB, 8 représentants des producteurs de coton et 8 représentants des sociétés cotonnières, c'est une parité et étant donné qu'il y a un mécanisme bien connu des partenaires technique et financier. Chaque année il est facile pour l'UNPCB et ses partenaires techniques de faire les calculs pour voir la tendance en ce qui concerne le prix d'achat du coton en tenant compte du cours mondial et puis des différents indices, que ce soit cotlook ou le marché de New York. C'est ce qui aide l'UNPCB dans sa préparation pour l'assemblée générale de l'AICB qui a lieu en avril de chaque année et qui offre l'opportunité de voir la fixation du prix de cession des intrants et d'achat

du coton, c'est ce qui permet d'uniformiser, parce que chaque société cotonnière achète ses intrants, mais les prix sont uniformisés à l'occasion de cette rencontre.

Qui sont les intermédiaires dans la chaîne du coton quand on part du producteur qui produit son coton jusqu'à la commercialisation ?

Il n'y a pas d'intermédiaire. Le producteur exprime ses besoins en intrants en fin de campagne autour du mois de septembre avec les superficies prévisionnelles. (interruption téléphonique 15'27 à 16'00) Donc après l'expression des besoins, tout est centralisé. Et il y a le comité de crédit au niveau délocalisé qui analyse les besoins et les valide avant de les transmettre aux sociétés cotonnières qui assurent la commande des intrants et au niveau de l'AICB les prix sont assez en tenant compte des contraintes de production des producteurs et c'est là que très souvent les subventions sont demandées à l'état et aussi de la filière pour avoir des prix assez abordables et et maintenir la motivation des producteurs et suite à cela le producteur recevra ses intrants, il produit et à la fin de la campagne qu'il effectue la récolte l'encadrement technique est assuré par la société cotonnière et l'UNPCB aide à mieux gérer les intrants pour que l'application de la caution solidaire ne fragilise pas les organisations de producteurs. Quand les intrants sont mieux gérés et en fin de campagne, les productions sont pesées, c'est la commercialisation au niveau des villages et ça c'est assuré par les groupements des producteurs de coton. Il y a quelques années c'était assuré par les agents des sociétés cotonnières, mais actuellement par les producteurs de coton qui envoient maintenant la production au niveau de l'usine pour l'égrenage. Donc jusque là c'est les producteurs qui s'occupent de tout et suite à l'égrenage, la société cotonnière va vendre son coton fibre et payer les producteurs. Ils sont payés au plus tard le 30 juin.

Vous intervenez uniquement au niveau de l'AICB de la fixation du prix des intrants, etc. ?

L'UNPCB en tant que structure, oui. Il y a des fois où il y a des contraintes au niveau des producteurs et après la récolte, le coton parce qu'il y a un programme chargé au niveau des sociétés cotonnières, les producteurs doivent passer un peu plus de temps sur le terrain. Ce sont des besoins qui remontent et ils vont voir les sociétés cotonnières pour peser ces besoins.

Comment sont redistribués les revenus du coton entre les différents acteurs de la chaîne ? Touchez-vous un revenu ?

Il y a la cotisation des membres annuelle. Parce qu'il faut dire que le marché du coton graine est organisé par les groupements et ils reçoivent des commissions sur achat. Parce que c'est une activité de la société cotonnière qui est maintenant assurée par les producteurs. Dans cette redistribution il y a une partie des fonds qui revient à l'UNPCB, l'autre au niveau des démembrements Unions départementales et provinciales et le reste au niveau du groupement.

C'est les 4200 francs par tonne ?

C'est 4250, parce que c'est 250 pour l'UNPCB, 250 pour l'union provinciale, 250 pour l'union départementale et 3500 pour le GPC chacun selon sa production.

Vous intervenez auprès des agriculteurs lorsqu'ils doivent soumettre une demande de crédit auprès des banques et de la SOFITEX ?

L'UNPCB en tant que structure, non.

Et au niveau de l'union départementale, une aide est-elle fournie ? Des conseils ?

Le système d'accès au crédit est tel que là-bas c'est plus des individus qui avalisent d'autres. Les institutions de finance sont plus intéressées quand c'est un individu qui avalise. Il y a peut-être un lien bien précis et une capacité bien précise pour celui qui avalise.

On demande cela, car comme beaucoup ne savent pas lire, ont-ils un soutien pour comprendre les contrats ?

Les agents sur le terrain sont chargés de les appuyer dans la gestion financière de leur groupement les accompagnent pour tout ça aussi. Je pense que ce qui freine le plus les producteurs ce sont les conditions des institutions financières parce qu'elles ne prennent pas vraiment de risques et le statut d'agriculteur n'est pas si valorisé qu'ils peuvent facilement obtenir un crédit. Un agent de l'État, un fonctionnaire ou quelqu'un qui travaille dans une structure précise, sur la base du bulletin de salaire peuvent sur base de leur bulletin de salaire facilement obtenir un prêt, mais pour les agriculteurs c'est plus difficile. Leur statut n'est pas reconnu à ce point. Avec l'une des institutions du groupe, on avait essayé de mettre en place un protocole, mais c'était vraiment difficile. On a dû abandonner. Ils ont souhaité juste considérer le coton, avec un rendement bas, qui réduit l'accessibilité des demandeurs et on a tout fait pour que le rendement soit amélioré et ils n'ont pas voulu considérer les autres produits de l'exploitation, les produits de rotation, le maïs, l'arachide qui donnent aussi des revenus à l'exploitation. Il y a le caractère activité agricole plus risqué, les institutions financières ne sont pas accessibles aux producteurs.

Quel est vraiment le rôle pratique du groupement de producteurs ? Comment leur efficacité pourrait-elle être améliorée ?

Ils sont chargés de gérer les intrants. Ils s'occupent de toutes les activités liées à la production cotonnière. Que ce soit pour l'approvisionnement en intrants, la collecte des besoins et aussi la commercialisation. Donc qu'est-ce qui pourrait être améliorée ?

Selon vous, ça fonctionne ?

Cela fonctionne assez difficilement. Vu le niveau d'instruction et déjà au niveau du groupement il faut obligatoirement quelqu'un qui sait lire et écrire pour relever les quantités d'intrants donnés à chacun des membres. Il faut toujours aussi de l'encadrement malgré tout. Tout au long de la campagne, ils peuvent vouloir des intrants complémentaires. Il faut toujours un appui et c'est en ce sens que les agents de l'UNPCB qui sont en place pour le conseil de gestion financière aux GPC jouent un grand rôle. Ils sont très souvent sollicités pour appuyer les groupements et les unions départementales et provinciales.

Et ce service-là est gratuit ?

Ils ne paient pas directement. C'est pris en compte dans les services que l'UNPCB rend à ses membres, dans les cotisations annuelles. Mais bien entendu ça ne suffit pas. Ils bénéficient de certains partenariats aussi. Actuellement nous sommes à un taux 70% de groupements qui sont couverts et on aimerait que ce soit à 100% pour aider ne serait-ce que pour 4-5 ans, pour que les uns et les autres aient des automatismes. De plus en plus aussi le niveau d'instruction augmente au niveau des

villages. Même si ce ne sont pas les producteurs de coton qui reçoivent cette instruction directement, ils peuvent se faire accompagner par un élève, quelqu'un dans la famille qui sait lire et écrire. De ce côté ça s'améliore aussi. On a eu aussi une époque positive avec l'alphabétisation à la gestion des exploitations. C'est une méthode spécifique d'alphabétisation qui est adaptée à la gestion des exploitations agricoles. Ce n'est pas savoir lire de longues phrases, mais savoir faire des opérations de calcul, etc.

C'est vous qui l'avez mis en place ?

Oui, on a développé cela dans plusieurs localités avec l'appui de plusieurs partenaires techniques et financiers. La difficulté c'est prendre le relais sur le financement. C'est coûteux. C'est une méthode assez spécifique. Mais ça a eu des résultats assez intéressants surtout quand on a voulu coupler avec le concept d'exploitation familiale.

Et cela va continuer si vous trouvez encore du financement ?

Oui. C'est une méthode qui a été initiée par le serpamac et qui n'a pas encore été validée par la direction au niveau de l'enseignement qui s'occupe des innovations internes de l'enseignement. Donc la méthode n'est pas encore validée. Il n'est pas possible d'avoir accès aux financements nationaux pour l'alphabétisation. Puisque ça a fait ses preuves sur le terrain, c'est intéressant. Du moment où cette méthode sera validée par la direction qui est basée au niveau du Ministère de l'Enseignement. Si la méthode est validée, on peut postuler ou directement nos membres vont postuler pour avoir accès au financement du fonds national pour l'alphabétisation.

Donc ceci était une méthode d'alphabétisation destinée uniquement au trésorier, au président et au secrétaire du groupement ?

Non, non, à tous les membres qui le désirent.

Qui sont les principaux importateurs du coton burkinabé ?

Ça, c'est une question pour la SOFITEX. À poser aux sociétés cotonnières. Le travail de l'UNPCB s'arrête au moment de la commercialisation primaire du coton. Après l'égrenage c'est vraiment du ressort des sociétés cotonnières.

On va passer au thème du coton bio. Quelle est la part du coton bio dans la production totale de coton au Burkina ?

C'est très faible. Peut-être 2 %

Cette part est-elle en augmentation ?

Oui, oui elle est en augmentation

On a entendu que l'UNPCB joue un rôle particulier dans la production du coton bio ?

L'UNPCB se charge de la production du coton bio depuis l'encadrement des producteurs jusqu'à la commercialisation. Donc tout est assuré par l'UNPCB. C'est vraiment une très grande particularité et l'UNPCB a cette possibilité compte tenu du bon fonctionnement de la filière cotonnière. Sinon l'UNPCB n'est pas concessionnaire d'une zone cotonnière. L'UNPCB n'a pas la possibilité de

produire, mais les sociétés cotonnières ont compris ce besoin d'un groupe de producteurs membres de l'UNPCB et ils permettent à l'UNPCB dans toutes les zones cotonnières du Burkina, les 3 zones que j'ai citées précédemment, le coton biologique est produit. C'est sur ce coton biologique que l'UNPCB à une équipe technique sur l'encadrement de la production cotonnière. Vu la spécificité, c'est un coton qui doit être produit suivant les normes biologiques. Et puis c'est un coton certifié équitable aussi donc il faut respecter toutes ces normes de production pour avoir le certificat en fin de campagne. C'est assuré par l'UNPCB depuis 2004.

Vous travaillez en collaboration avec les sociétés cotonnières pour le transport, l'égrenage, etc. ?

Tout est fait à FASO : le transport, des prestataires à qui on va imposer le cahier des charges pour le nettoyage et tout et pour l'égrenage c'est fait à FASO avec les sociétés cotonnières comme une prestation qui est facturée.

Quels sont vraiment les services que vous mettez à disposition pour les producteurs de coton bio ? De l'encadrement au niveau technique ?

Oui, l'approvisionnement en intrants, puis l'encadrement technique ? et ensuite la commercialisation.

Comment sont sélectionnés les producteurs qui font du coton bio ? Ils viennent vers vous ou c'est vous qui allez vers eux ?

Je dirais les 2 parce que étant donné que dans les zones de production cotonnière, il y a des zones biologiques où il y a des producteurs qui souhaitent adhérer, donc ils viennent vers le groupement et ils rencontrent les agents d'encadrement sur le terrain. Ces producteurs peuvent prendre attache avec eux. Tout comme c'est un mode de production qui est accessible et qui peut intéresser un certain nombre de producteurs, c'est plus souvent des petits producteurs, parce que vu les exigences, les groupes qui ont 5 hectares ne sont pas intéressés. C'est trop difficile pour eux. Donc les agents quand ils sont installés dans une zone où ils font de la sensibilisation, ceux qui sont intéressés peuvent aller les voir. Là on voit que beaucoup de femmes sont intéressées.

L'adhésion se fait surtout à cause du prix proposé pour le coton bio ou les agriculteurs bio ont conscience de l'importance environnementale du coton bio ?

Il y a le tout. Les producteurs sont très conscients de l'effet nuisible des pesticides et autres. Ils le savent bien ce n'est pas pour rien, dans les champs de case ils font souvent du coton qu'ils ne traitent pas parce que quand on fait un traitement toute la famille est malade. Ils sont bien conscients de l'effet nuisible des produits chimiques sur la santé de la famille. Et le coton biologique a bien des avantages et des femmes disent qu'elles peuvent traiter leur champ de coton elles-mêmes alors que dans le conventionnel une femme ne fait pas de traitement. Il y a cette conscience-là et il y a également le prix. Il y a des femmes et des petits producteurs et en zone rurale où il y a très peu de production qui a un marché stable et sûr. Le coton a un avantage : il permet de produire à crédit et de commercialiser après. Il n'y a pas de risque d'avoir des invendus comme pour certaines cultures et il y a très peu de risques d'avoir des fluctuations de prix qui peuvent être pénalisants pour le producteur. Donc il y a le prix, la source de revenus pour la vente de coton biologique et l'avantage sur la santé. Même dans le coton conventionnel, en ce moment c'est plus la gestion intégrée des prédateurs, etc.

c'est vraiment la question intégrée qui permet de raisonner les apports de pesticides et d'intrants et tout.

Au niveau des crédits que les agriculteurs bio contractent avec les banques, cela se passe-t-il de la même manière qu'avec les sociétés cotonnières ?

Là c'est différent. Il y a un petit crédit, parce que les produits naturels coûtent bien sûr moins cher que les produits chimiques utilisés dans le coton conventionnel, mais là c'est mis en place par le programme. C'est l'UNPCB qui organise cela. Donc les besoins sont filtrés au niveau du groupement et au niveau de la zone de production de coton biologique avec l'appui des agents techniques d'encadrement coton biologique, et les besoins sont remontés. Au niveau de l'UNPCB, il y a un programme coton biologique. Nous nous chargeons de commander ces intrants-là pour les mettre à la disposition des producteurs et en fin de campagne le coût de ces intrants sont retranchés de leurs recettes. Ils peuvent avoir accès au système financier, mais pour des besoins d'équipement, des besoins non pris en charge par le programme.

Et vous n'avez jamais eu de problème de producteur endetté suite au crédit ?

Non. Quand le producteur est vraiment engagé, c'est-à-dire que ça représente vraiment une charge de travail supplémentaire de produire de la fumure organique, etc. ; Quand le producteur se donne vraiment, il arrive à bien fertiliser sa parcelle donc déjà c'est un rendement intéressant qu'il va avoir. Il n'y a que les semences ; les prix sont vraiment très bas et il y a des produits industriels bio, tels que le bio qu'il peut utiliser et là c'est moins cher.

Existe-t-il des mesures strictes de contrôle du label bio ?

Chaque année la production est certifiée.

Elle est certifiée à quel niveau ?

Depuis le champ et jusqu'à l'égrenage.

Et c'est certifié par l'UNPCB ou par un organisme ?

Par un organisme de certification indépendant.

Burkinabé ou international ?

International.

Quelles sont les perspectives pour le coton bio dans la mesure où la plupart des sols sont dégradés ? Est-ce que vous mettez en place des programmes pour récupérer les sols dégradés ?

Mais là ça va plus loin que le coton biologique. Au niveau de la filière et plus particulièrement des producteurs de coton, on est bien conscients de la stagnation des rendements et les producteurs sont bien conscients que celui qui arrive à produire la fumure organique assurera un meilleur rendement et même à terme la régénération de son sol quand il revient au bout d'un an, deux ans c'est toujours plus intéressant, mais c'est la charge de travail que ça représente. Au niveau de l'UNPCB, c'est une préoccupation qu'on a. Depuis quelques années on a essayé la fumure organique ? industrielle et à

chaque fois on a voulu faire un test avant, au niveau des producteurs avant de s'engager dans une quelconque vulgarisation. Et ça a donné des résultats intéressants pour un cas, et c'est le coût qui reste toujours assez élevé. Parce quand on prend l'échelle de 50 hectares, c'est assez difficile. Donc c'est un défi qui est toujours d'actualité, les réflexions se poursuivent et avec l'accompagnement d'un certain nombre de partenaires on avait réussi à mettre en place des actions de conservation des eaux et des sols, de production de fumier organique, de petit matériel. Produire le fumier c'est une chose, mais la porter au champ c'est un autre problème aussi. C'est un défi constant auquel on essaie de trouver une solution. Je pense qu'au niveau de la recherche il y a toute une panoplie de solutions que chaque producteur peut adapter selon ses contraintes. Maintenant l'accompagnement est toujours nécessaire.

Au niveau plus général des perspectives futures en vue d'un développement de l'agriculture burkinabée, comment vous positionnez-vous par rapport aux ONGs ou toute aide extérieure, par rapport aux entreprises occidentales qui viennent au Burkina ?

Je pense qu'au niveau de l'UNPCB (comme pour toute la filière coton) on n'est pas du tout fermés, mais il faut qu'on comprenne bien ce qui est vraiment recherché, l'accompagnement qui nous est proposé et puis les conditions et quelles sont les perspectives pour nous après cet accompagnement aussi. Il faut que tout cela soit bien clair. Je pense qu'on n'est pas du tout fermés. Il faut qu'il y ait une connaissance bien approfondie du partenaire qui vient, et selon les objectifs visés par les différents acteurs de la filière. Comme il y a un organe de la gestion de la filière, il faut que tout s'inscrive dans un cadre assez harmonieux.

Vous travaillez déjà en partenariat avec des ONGs ?

Oui, oui.

Avec quel genre par exemple ?

Sur le coton biologique, on a eu à travailler avec OXFAM, Helvetas et également d'autres partenaires. Pas que des ONGs. Il y a CSR (ONG catholique de services). Il y a d'autres projets et partenaires, comme l'Union européenne, l'UOA.

Selon vous, comment la filière coton peut-elle encore se développer au Burkina Faso ?

C'est une grosse question.

Quels sont les challenges majeurs ?

L'agriculture en général est influencée par les changements climatiques. Les mesures d'adaptation adaptées. Il y a toute une panoplie de mesures et il faudra que la réflexion continue là-dessus. C'est vraiment une préoccupation. Vous voyez que le coton par exemple il y a quelques années, une dizaine d'années par là, on considérait que les semis commençaient à partir du 15 mai au 10 juin. Ce sont les semis précoces. Après ça on passe aux semis normaux et tardifs, mais ça, c'est quelque chose qu'actuellement on ne peut plus du tout appliquer. Parce qu'on a des semis vers fin juin. Après c'est une poche de sécheresse avec plein de resemis et tout. Donc je pense que le premier défi c'est s'adapter de manière assez durable au phénomène de changement climatique. C'est au niveau de la production agricole.

Sinon je pense qu'en termes de semences ou de techniques d'innovation il y en a assez. Et même si il faut de l'accompagnement pour certaines innovations. Donc je pense que sur le plan agricole c'est plus ça.

Maintenant sur le plan même de l'organisation paysanne, c'est vraiment pouvoir porter la voix des différents membres partout où il le faut, afin de les aider à améliorer leurs conditions de production et ce qui va bien sûr améliorer leurs conditions de vie. Il faut que les organisations soient fortes et qu'elles soient vraiment portées par leur base pour leur permettre de bien pouvoir jouer leur rôle. Ce sont les principaux interlocuteurs. On parlait tout à l'heure des partenaires, quand il y a par exemple un partenaire qui veut investir dans un domaine précis, il faut que les représentants de l'organisation qui ont ce rôle-là puissent vraiment porter les besoins des producteurs afin que l'intervention de ce partenaire-là puisse répondre à leurs attentes.

Pour terminer, est-ce que vous pouvez nous parler du problème d'accaparement des terres au Burkina ? Est-ce que ça existe ?

Qu'est-ce que vous entendez par accaparement des terres ?

Par exemple dans le village ils considèrent que la terre leur appartient parce qu'il y a le chef des terres qui les redistribue. Est-ce qu'il y a des gens, que ce soit le gouvernement ou des gens extérieurs qui disent que ça ne vaut rien et qui récupèrent les terres. Et donc les producteurs perdraient leurs terres.

Dans certaines localités il y a des gens qui achètent des parcelles peut-être plus pour faire des fermes, parce que ce sont des gens qui ont un certain nombre de moyens. Mais je pense qu'au Burkina la loi a essayé de cadrer tout cela avec la loi sur le foncier. Qui décide que pour toute cession de terrain, etc. il y a tout un comité qui est mis en place et qui va à la rencontre des représentants des producteurs, des représentants de la commune rurale, etc. Ce qui fait que le phénomène est assez cadré, je pense. Il y a la loi qui est en cours d'application et même les organisations paysannes ont beaucoup participé et ont beaucoup insisté sur l'accompagnement de l'état pour très rapidement bénéficier les producteurs de titres fonciers. Ça met vraiment fin à tout risque de perte de sa parcelle. Je pense que c'est une amélioration qui est en cours et qui va vraiment permettre au producteur de bien se fixer sur leur parcelle. Et ça va contribuer à résoudre le problème de fertilisation. Parce que quand les producteurs ne sont pas propriétaires de leur parcelle, au moment de fertiliser il y a certaines réticences. Tu peux peut-être bien fertiliser ta parcelle et puis la campagne prochaine, le propriétaire vient te dire «bon c'est ma parcelle, je souhaite la récupérer». Mais là quand il y a un titre foncier, quels que soient tes investissements sur ta parcelle, tu sais que c'est pour les générations à venir et tu ne vas pas en être chassé.

On nous a parlé du plan quinquennal sur les challenges actuels et futurs du secteur du coton. Pouvez-vous nous en dire plus ?

Le plan quinquennal ?

(Madina) Oui, on a fait une sortie avec l'école ici et on nous a sorti un document dans lequel il y a l'ensemble des projets..

Oui ça c'est le plan quinquennal de l'UNPCB, parce que l'UNPCB fonctionne sur la base de plans

quinquennaux validés par l'assemblée générale. Et chaque année le plan de travail annuel est extrait de ce plan quinquennal. C'est la vision de l'UNPCB. Le dernier plan a pris fin en 2012. Le nouveau est entré en vigueur en 2014. On y retrouve la vision, les attentes, la logique d'intervention de l'UNPCB et également les objectifs à atteindre à la fin de ce plan.

On a un budget qui reprend un peu toutes ces actions à mener avec les fonds qu'on doit mobiliser. Il y a un gros travail à faire en ce sens et puis une possibilité de bénéficier de certains partenariats. Sur la fertilité des sols, dernièrement on a signé un contrat avec l'Union Européenne pour prolonger d'un an. On doit beaucoup miser sur ça. Et on espère pouvoir compter sur des partenaires habituels qui nous accompagnent sur certaines thématiques.

L'état est un partenaire important ?

Oui ça peut être l'état. Si on voit les actions telles que 2000 charrues, etc. Ça, ce sont des moyens qui permettent aux producteurs de s'équiper et par exemple pour une telle action c'est pouvoir mieux porter la voix des producteurs de coton pour qu'ils puissent en bénéficier. Pour qu'au moment de la distribution, étant donné que c'est le plus grand groupe de producteurs agricoles, ils puissent aussi en bénéficier conséquemment.

Vous publiez le plan quinquennal quelque part où c'est interne à l'UNPCB ?

C'est interne.

Avez-vous quelque chose à ajouter ?

C'est vrai que les tiges de coton c'est difficile à valoriser. C'est difficile à composter et ça peut être une opportunité intéressante effectivement. On a essayé avec le compost + qui est un activateur, mais le compostage était assez complexe et exigeant. Il y a une contrainte de transport et d'eau pour arroser le compost. C'est assez complexe. Quand on est développeur, on est toujours optimiste. Il y a toujours des solutions avec des contraintes. Il faut présenter ces solutions aux producteurs et chacun doit s'adapter selon ses possibilités.

Merci beaucoup pour votre temps.

Fin de l'interview.

F.3 Rencontre avec l'INERA

Personne interviewée : Bazoumana Koulibaly

Fonction : Chercheur agronome et organisateur du programme coton au sein de l'INERA (Institut National de l'Environnement et de Recherche Agricole)

Pourriez-vous vous présenter et expliquer le rôle du programme coton au sein de l'INERA ?

Je m'appelle Bazoumana Koulibaly et je suis chercheur agronome à l'INERA. Je m'occupe des fertilisations et de la gestion de la fertilité des sols dans le système coton. Je m'assure également du programme coton : c'est une mission de coordination entre les activités de recherche agricole et pour le coton. C'est l'institut de l'environnement et de recherche agricole qui prend en charge l'ensemble

des activités de recherche dans l'ensemble du pays. Il y a 3 sociétés cotonnières et nous nous situons dans la zone de SOFITEX, qui gère environ 80% de la production nationale.

Les activités de recherche couvrent l'ensemble du territoire, et la mission vise à offrir à l'ensemble des acteurs de la filière des variétés de cotonniers qui répondent aux exigences du marché. En effet, la majorité de la production est exportée c'est pourquoi il faut être capable de le vendre et qu'il réponde à des normes que le marché recherche. On travaille généralement sur l'amélioration variétale pour améliorer la productivité ou la fibre (sa ténacité ou sa longueur). Ce sont donc les exigences du marché qui dictent les ventes et les propriétés du coton.

Travaillez-vous sur le coton conventionnel ou avec OGM ?

Pour le matériel de départ, nous commençons toujours avec le coton conventionnel. Ensuite, nous pouvons ajouter les OGM à cette variété de départ lors d'une autre phase. Ce n'est donc pas un produit tout à fait nouveau, car tout provient du coton conventionnel que nous connaissons. Une fois que l'on a un bon matériel de départ, nous pouvons regarder le coton transgénique.

Par quel département est pris en charge le programme coton ?

Dans le département de la production végétale. C'est là que toutes les cultures pluviales sont répertoriées comme : le riz, le coton, les céréales traditionnelles, les cultures maraîchères, les cultures de tubercule, etc.

Combien de chercheurs font partie de l'équipe du programme coton ?

Environ 12 chercheurs. Ils ont des disciplines de sélectionneur, d'entomologiste, d'agronomie ou ce sont des agro-économistes. Les sélectionneurs s'occupent de la création variétale.

Qui finance toutes ces recherches ?

C'est toute la filière cotonnière qui s'occupe du financement des activités de la recherche sur le coton, et pas uniquement les trois grandes sociétés. Dans cette filière, on retrouve l'Association Interprofessionnelle du Coton qui, elle-même, regroupe les sociétés cotonnières, l'union nationale des Producteurs et les autres acteurs de la transformation. Ce sont principalement les sociétés cotonnières, regroupées dans l'APROCO (Association des Professionnels du Coton), qui vont participer : SOFITEX, SOCOMA et FASO COTON. Quant aux producteurs, ils sont regroupés à travers l'UNPCB.

Travaillez-vous directement avec des groupements d'agriculteurs pour réaliser des tests ou avez-vous des terrains utilisés dans ce but ?

Nous avons nos installations de recherche partout dans le pays, dans le but d'effectuer des tests avec la collaboration des sociétés cotonnière. Les producteurs partenaires avec lesquels nous menons des tests doivent répondre à des conditions spécifiques, c'est pourquoi les sociétés cotonnières aident à choisir un bon producteur qui va correctement effectuer les tests. Travailler avec eux permet aussi d'avoir les variabilités de terrain. À l'heure actuelle, avec le coton transgénique, nous avons quasiment 150 tests qui sont en cours à travers le pays.

Combien de temps sont requis pour réaliser ces tests ?

Cela dépend de la nature et de l'objet que l'on recherche. Par exemple, les tests sur le coton avec des essais variétaux se font chaque année et on évalue les performances, etc. Par la suite, on part dans la production réelle pour voir si le résultat est bien celui auquel on s'attendait. Au niveau de la production phytosanitaire, on regarde le niveau de parasitisme en champs et cela se fait tout le temps, en fonction des programmes phytosanitaires qui sont mis en place. Il y a d'autres types de tests qui concernent des produits spécifiques, et qui peuvent durer jusqu'à 1 an ou 2

L'INERA produit-elle des papiers scientifiques ? Si oui, à qui les transmettez-vous ?

Pour la recherche coton, il y a une partie recherche et développement qui permet de répondre à des préoccupations que les acteurs de la filière posent souvent (dose, traitements...). Ces recommandations sont souvent actualisées quand c'est nécessaire. Les résultats sont directement communiqués dans la filière pour pouvoir les prendre en compte. Aussi, il y a des recommandations à propos des intrants qui sont mis à disposition des agriculteurs dans le but de faire les ajustements nécessaires au niveau des engrais, des pesticides, etc.. Lorsqu'un nouveau produit intéressant fait son apparition, ils sont directement recommandés pour les agriculteurs. Il y a une diffusion quasi directe avec les acteurs grâce à ces recommandations pour tel ou tel aspect. Un cahier de charge est élaboré pour organiser tout cela.

Travaillez-vous sur le coton bio ?

Oui, sur tous les types de coton.

Connaissez-vous le biochar ? Si oui, pensez-vous que ce soit une solution pour les sols dégradés ?

Je ne sais pas si c'est "la" solution, il faut des éléments pour pouvoir le vérifier. On a déjà eu affaire à un travail pour valoriser les tiges de coton, et on avait travaillé à la carbonisation des tiges pour produire du combustible. Ma démarche était un peu différente, car on faisait la carbonisation puis on faisait un système de compression pour faire des pellets. Il est vrai qu'aujourd'hui il y a un problème de gestion de l'environnement, avec une forte densité humaine, et une pression sur les ressources de chauffage très forte. Ce projet avait vu le jour pour atténuer la pression sur le milieu naturel, ne plus recourir au bois de chauffe et pour pouvoir réutiliser les tiges. Mais oui, il y a plusieurs sources de valorisation et le biochar pourrait en être une. Le projet sur la carbonisation a un peu fonctionné, mais l'unité qui avait été créée pour le faire n'a pas été très loin. Je pense donc qu'il faut des éléments supplémentaires pour pouvoir dire si le biochar va être utile ou pas. .

Selon vous, quels sont les challenges majeurs de la filière coton au Burkina ? Est-ce l'économie ou l'environnement ?

Les challenges sont multiformes ! Pour ce qui nous concerne en terme de structure de recherche, notre devoir est de créer des conditions optimales pour que le coton soit le plus durable possible, mais d'autres aspects politiques ou internationaux peuvent influencer ce qui se fait de façon pratique donc pour la production, c'est vraiment assurer la durabilité de la production qui nous importe. Nous devons dès lors tout faire pour freiner la dégradation des sols et assurer la productivité du coton dans le but de ne pas augmenter la superficie pour augmenter la production. Nous voulons assurer les rendements et cela de façon durable. Donc à propos de la perte en matière organique du sol, il faut travailler à diminuer cela... Cependant, nous avons quand même des solutions proposées aux

producteurs, à qui ont dit de recycler les éléments du champ. Mais à l'heure actuelle ce n'est pas assez efficace pour toute la biomasse, cependant on peut, quand c'est possible, transformer de petites quantités à appliquer sur les sols. De plus, le biochar pourrait être un élément pour séquestrer le C et être une forme de restitution au sol. Mais la séquestration du C n'est pas le but recherché pour le moment. C'est vraiment les exigences du marché qui sont les défis à relever, avec des produits qui respectent l'environnement et les utilisateurs, etc. Ça permet aux chercheurs d'avoir de nouveaux objectifs et de nouvelles difficultés et situations pour trouver des réponses. Produire durablement signifie meilleurs rendements et améliorer les revenus donc il y a les aspects de la pauvreté, etc. Le coton est intégré avec d'autres cultures qu'il ne faut pas négliger non plus.

Ressentez-vous une augmentation des producteurs qui souhaitent produire du coton bio ?

Non, car ils restent vraiment minoritaires, autour des 7000 producteurs, malgré la présence d'une ONG américaine qui souhaite amener ce taux à 10.000. Comparé aux 300.000 producteurs du Burkina Faso, ce chiffre est toujours minime. La surface d'un producteur bio est d'environ 0.5 hectare de moyenne, avec une production totale de 0.03% de la production nationale burkinabée, ce qui est extrêmement faible.

Merci beaucoup pour votre temps.

Fin de l'interview.

F.4 Rencontre avec la SOFITEX

Personne interviewée : Laurent Bayala

Fonction : Responsable du service, de l'infrastructure et des transports à la SOFITEX

Pourriez-vous vous présenter ?

Bien sûr. Je suis responsable du service, de l'infrastructure et des transports ici, à la SOFITEX. Mes activités consistent notamment à rendre les transports plus compétitifs par camion.

Où intervient la SOFITEX dans la société cotonnière ?

Essentiellement à l'ouest, dans 7 régions, avec une capacité d'égrenage dans 15 usines ainsi qu'une étape qui consiste à débarrasser les graines de coton des fines fibres qui l'enrobent. Cela se fait de façon industrielle pour enlever tout ce qui entoure la graine. C'est dans le but de faciliter le suivi du coton, car quand ça sert à des usines de façon brute avec les fines fibres, les graines s'enchevêtrent et c'est alors plus difficile de les séparer pour semer. Avant cela, les producteurs avaient des unités de pralinage où on enroulait la graine dans de la bouse de vache pour les séparer ou encore on apportait de la farine et de l'eau pour les séparer. Aujourd'hui, il y a deux types de semence : soit on s'est débarrassé du de ces fines fibres soit pas. D'un point de vue agronomique, c'est cependant la même graine avec les mêmes caractéristiques techniques.

Vous vendez les graines aux agriculteurs et ils font crédit pour l'acheter. Ensuite ils vendent le coton et vous déduisez du crédit ?

Oui.

Quand vous récupérez le coton brut, c'est vous qui vous occupez de tout jusqu'à l'exportation ?

Nous mettons le produit fini à la disposition du transitaire qui se charge de transporter le coton jusqu'à l'aéroport où là la SOFITEX n'est plus responsable.

Vers quels pays exportez-vous ?

Surtout vers les USA et les pays asiatiques. La Chine et la Malaisie sont de nouveaux clients.

Au niveau du microcrédit pour les agriculteurs, sont-ils obligés de vous revendre à vous ?

En fait ce sont des banques (Ecobanque) qui font des crédits, pas des microcrédits, et qui sont des partenaires. Puis d'autres pools bancaires font le placement avec la banque de SOFITEX. Ils font crédit à SOFITEX pour acheter les intrants. La garantie des paysans est la caution solidaire : le crédit est offert au groupement et pas à chaque producteur. Nous sommes alors tous en gage de ce crédit solidaire, et il y a alors obligation de rester soudé en cas de problème avec le crédit. On a également obligation de rassembler nos cotons qu'on vend à SOFITEX. Après réception du coton, il y a des fiches de paiement qui s'adressent au nom de la banque qui a offert le crédit ; ils reçoivent tout l'argent de la production et reversent à la SOFITEX le surplus, c'est-à-dire ce qui a été produit. Donc c'est bien la banque qui reverse à la SOFITEX. Ensuite seulement la SOFITEX reverse aux agriculteurs qui répartissent l'argent entre eux, la SOFITEX n'a alors plus rien à voir.

Si un groupement fait le crédit, est à la frontière avec un autre pays et décide de vendre à un meilleur prix à une autre société, tout en étant capable de rembourser le crédit initial, que se passe-t-il ?

Il y a des contrats qui lient les producteurs à la SOFITEX, tout fonctionne sur cette base. Cela arrive qu'ils revendent à des commerçants extérieurs et marginaux, mais c'est rare. En effet, il n'y a que la SOFITEX qui a le monopole. Tous ceux qui produisent ici le vendent à SOFITEX. Il y a une relation de fidélité avec les groupements de villageois : on leur dit que s'ils ne paient pas, on ne leur fait plus crédit et c'est la fin du contrat. Il est efficace grâce à la qualité des intrants, car elle n'est pas garantie ailleurs sur le marché. De plus, les autres sont toujours plus chers que la SOFITEX, car les leurs sont subventionnées par l'état (14.000 francs du litre) alors que sur la place du marché, ça coûte 20.000 francs avec le risque qu'il soit de mauvaise qualité, car ce n'est pas contrôlé. Un jour, un arnaqueur a vendu un sac de gravier mélangé à un prix de 20.000 FCFA... La SOFITEX qui vend des intrants est alors une sécurité, avec la certitude d'une toxicité qui répond aux normes de l'OMS.

Dans votre coopération avec les producteurs, leur fournissez-vous du matériel ou des hangars ?

Ils construisent eux-mêmes des silos villageois confectionnés avec du matériel local pour stocker le coton. Ce sont aussi eux qui se procurent le matériel et les outils. On les rémunère pour leur participation à organiser la commercialisation primaire 4200 francs sur chaque tonne de coton et c'est avec ces ristournes-là qu'ils font des investissements : des magasins, des silos, des infrastructures dans

les villages, etc. Dans les 4200 francs, il n'y a pas le remboursement du crédit, c'est la SOFITEX qui paie le service ! C'est un prix fixe ajouté uniquement pour les investissements des agriculteurs. Avant, la SOFITEX devait aller organiser l'achat du coton avec son personnel, avec ses moyens techniques. Mais elle a été vers un processus de transfert de compétences donc elle apprend aux organisations paysannes/groupements d'agriculteurs à le faire pour la commercialisation primaire. En contrepartie, la SOFITEX les paie dès lors 4200 francs par tonne de coton

Entretenez-vous des relations avec les autres zones cotonnières pour décider de l'achat des intrants, etc. ?

Oui, nous sommes obligés pour éviter la concurrence. Avec celle-ci, les paysans vont vouloir varier de société, donc si c'est le même prix partout ça permet de meilleures interventions.

Proposez-vous des solutions pour les agriculteurs qui travaillent sur des zones de sols dégradés ?

Non, car 80% des sols du Burkina Faso sont accidentés, donc il y a des programmes de développement qui travaillent sur la récupération des sols et sur l'érosion, mais ça se limite juste à ça. Ils s'occupent de cela, mais la SOFITEX n'a pas à intervenir dans ce domaine, c'est à l'état de le faire. Nous encourageons juste les paysans à le faire.

Prenez-vous en charge le coton bio à la SOFITEX ?

Pas de coton bio à la SOFITEX, seulement le conventionnel et l'OGM. Pour le bio, c'est l'UNPCB qui intervient chez ces producteurs. La SOFITEX intervient cependant dans les opérations finales sur le coton bio, mais c'est l'UNPCB qui s'organise pour les crédits et les agriculteurs. Elle a même du personnel, des conseillers agricoles, sur le terrain qui s'occupe de cela.

Est-ce que la fixation du prix lors du rachat aux paysans change d'une année à l'autre ou est-ce toujours le même ?

Ce n'est pas toujours le même, ça dépend des cours mondiaux. Quand les cours sont bons et que la SOFITEX a assuré sa surface financière, il y a des dividendes qui sont versés aux paysans à travers le meilleur prix du coton. On appelle cela la ristourne additionnelle.

Donnez-vous une aide aux agriculteurs qui seraient endettés par le crédit ? Si la récolte a été mauvaise à cause de mauvaises conditions climatiques et qu'ils n'arrivent pas à le rembourser ?

C'est déjà arrivé une année, lors d'un problème avec des ravageurs qui se nourrissaient des capsules du cotonnier et de maladies, que les récoltes soient fortement affectées. Les dégâts étaient tellement élevés que la caisse française de développement a financé les crédits auprès des banques pour alléger les paysans. La SOFITEX peut aussi, dans certains cas, faire un échelonnement de 2-3 ans auprès des banques qui ont fait crédit, et postposer le remboursement du crédit à la récolte suivante.

Cela arrive-t-il souvent que les agriculteurs soient endettés ?

Non, pas souvent. Il y a eu des périodes successives d'endettement des paysans jusqu'en 1998 où on a mis en place des comités locaux de crédit. Avant ça, le groupement comprenait des surfaces différentes par agriculteurs, et au total cela faisait x ha. Ensuite, est-ce que j'ai les opportunités foncières pour

faire ces x ha de coton ? Personne ne peut se prononcer sur ma capacité de remboursement des crédits... Cela a mis en défaut les crédits de la SOFITEX. Après le comité local, tous les producteurs des mêmes groupements se retrouvent et chacun des agents vient s'asseoir. On sort alors la liste pour faire le décompte de ce que les paysans ont consommé en intrant et leur production. On peut dès lors voir qui peut ou ne peut pas faire les x ha qu'il voulait faire. Enfin, on analyse les rendements sur les 3 dernières années, et en fonction de ça on voit si ce qu'il dit en terme de tonne par ha est vrai et possible... Ce sont des moyens pour déterminer les intrants dont il a besoin. C'est comme ça que fonctionne le comité de crédit. C'est sur cette base-là que nous sommes arrivés à maîtriser les crédits et les superficies. Aujourd'hui cela fonctionne bien, car ce sont les paysans qui s'organisent eux-mêmes et ils sont capables d'analyser leur potentiel foncier. On a mis les paysans dans une logique d'exploitation pour couvrir leur crédit.

Un producteur est-il obligé de vous vendre tout ce qu'il a produit ?

Oui, il ne pourra vendre ça nulle part ailleurs. SOFITEX a le monopole sur l'achat du coton. Il ne pourra pas revendre aux autres sociétés, et aussi parce qu'elles sont extrêmement loin. Et puis c'est le même prix grâce aux partenariats, donc cela ne change rien, etc. Les prix sont fixés au niveau national. Cette année c'est 225 francs, 200 francs pour le prix plancher et 25 pour le bénéfice

Si une année les prix mondiaux diminuent énormément, et que le prix du marché passe à 190 francs, payez-vous le prix plancher de 200 ou pas ?

Non, le prix plancher est défini en fonction de ce qu'on devait réaliser comme bénéfice. À la campagne, on répercute cela sur le prix du coton pour les paysans. On ne sait même pas si on pourra reverser de l'argent additionnel aux paysans, on maintient alors le prix de cette année. On fait tout pour que les comptes soient équilibrés et on vérifie qu'ils ne sont pas déficitaires.

Donc vous fixez le montant de bénéfice que vous désirez ?

Non, nous calculons le bénéfice que tout le monde a obtenu dans tous les cas, les paysans sont actionnaires à la SOFITEX : ils ont des actions. Donc ils font les assemblées générales avec nous.

Il y a alors des agriculteurs présents lors des conseils généraux ?

Oui, ils sont représentés par les membres de l'UNPCB. Les paysans ont presque 35% des actions. Les autres actionnaires sont les banques et la SOFITEX.

À propos des contrats avec les banques pour le crédit : comme la plupart des producteurs sont analphabètes, comment leur faites-vous signer le contrat ?

Ils ne sont pas tous analphabètes, car le secrétaire présent est bien lettré. L'UNPCB a aussi des agents sur le terrain qui vont gérer les contrats comme ils sont comptables et conseillers en gestion.

Combien d'employés a la SOFITEX ?

4000 personnes sur l'ensemble du secteur, avec 3 usines d'égrenage à Bobo. Nous possédons également 88 camions.

Sur combien de semaines/mois étalez-vous la récolte du coton ?

C'est tout un calendrier , nous devons tout agencer pour la charge des 3 usines. Celles de Bobo ont une charge de 800 tonnes : cela signifie que pour qu'elles fonctionnent, il faut peser correctement. Par mesure de prudence, il y a une marge pour aller jusque 1000 tonnes jour, car les usines peuvent les dépasser. On élabore ces programmes de pesée sur 10 jours, où il faut au moins 10.000 tonnes de coton pour atteindre la limite. C'est en fonction de cela qu'on déclare la quantité de coton qu'on veut par groupement d'agriculteurs. C'est aussi en fonction des dates de semis, car il faut récolter en priorité le coton qui sera mature en premier. C'est en fonction de cela qu'on donne l'autorisation de récolter, en parallèle avec le fonctionnement des usines. Il faut éviter les bouchons où les délais d'attente sont longs.

Récoltez-vous généralement avant la saison des pluies ?

Oui et nous avons intérêt, car, comme la majorité des zones sont enclavées, si on l'évacue pas avant la saison pluvieuse, on ne pourra pas y aller après. Mais attention, nous connaissons quand même des pluies en pleine saison sèche !

Y a-t-il des pertes de coton à cause des pluies ?

Non, on peut sécher le coton, mais cela joue un peu sur sa qualité. C'est la SOFITEX qui est responsable de cette étape et pas le paysan.

Et lors de la pesée ?

C'est eux qui ont une équipe d'achat sur place qui s'en occupent, pas la SOFITEX.

Entretenez-vous de bonnes relations avec l'UNPCB, alors qu'ils représentent les intérêts des agriculteurs ? j'imagine qu'ils veulent obtenir le plus haut prix, demandent-ils des augmentations ?

Aujourd'hui, ils sont obligés de travailler dans la transparence. On ne peut plus rien cacher, comme auparavant. Les journaux sont aux aguets et vérifient pour tout. C'est l'association interprofessionnelle du coton du Burkina, dont les paysans sont parties prenantes, qui va fixer le prix du coton. Ce sont des experts, en accord avec les producteurs et les sociétés cotonnières, qui vont fixer les prix. Cela évite tout conflit puisque les informations sont connues de tous.

Qu'en est-il du taux de change ?

Le prix est influencé par les cours mondiaux, qui est aussi indexé au taux de change . Heureusement c'est parfois indexé à l'euro, mais très souvent le commerce se fait en dollar.

Y a-t-il un rendement minimal en coton pour commercer avec les agriculteurs ou les groupements ?

Un groupement doit produire au minimum une quantité de 40 tonnes pour que la SOFITEX le prenne en charge.

Quels sont vos liens avec le programme coton de l'INERA ?

Ce sont eux qui, d'un point de vue agronomique, vont définir la politique agricole du coton au Burkina Faso. Ils discutent des différents protocoles, des innovations technologies et ils sont assermentés au niveau national pour les faire appliquer. Nous avons un contrat d'assistance technique avec eux.

Financez-vous leurs recherches ou bien est-ce l'état ?

Oui nous participons au financement de cette recherche.

Que pouvez-vous nous dire à propos des tests de qualité ? C'est le personnel de la SOFITEX qui s'occupe du conditionnement. En cas de désaccord sur la qualité du coton, le met coton en litige. Le comité de litige fait un prélèvement pour apprécier la qualité et énoncer des résultats sans appel. Après son analyse, la majorité du lot va déterminer sa classe (1er choix ou 2e choix).

Quels sont, d'après vous, les grands challenges qui attendent le marché du coton au Burkina ?

Les enjeux économiques , c'est ce qui est le plus important et il est difficile de faire plier quelqu'un à ses desideratas dans ce milieu.

Les enjeux économiques surpassent alors les enjeux environnementaux ? La dégradation des sols par exemple ?

Les continents qui polluent le plus (Europe, Amérique du Nord, Asie) rachètent les quotas carbone en Afrique. Et donc tout ça est relié à des enjeux économiques ! Chez nous, nous utilisons des engrais de synthèse alors que nous savons qu'ils sont nocifs pour la restauration du sol. Cependant on le fait à cause des enjeux économiques ! Si on veut utiliser autre chose, cela signifie qu'il faut produire plus d'engrais verts, mais dans ce cas il faut davantage de matériau naturel. Et si on veut cette biomasse morte, on va repasser à la biomasse vivante dans le futur ? La biomasse et la fumure organique ne vont pas être suffisantes pour produire assez de coton.

La dégradation des sols ne va-t-elle pas mener à une diminution des rendements ?

Cela aura sûrement des conséquences économiques, écologiques, et aussi stratégiques. Dès qu'on accentue la pression des engrais chimiques sur le sol, le potentiel d'acidité va augmenter, même à long terme. La chimie va remplacer l'ingénierie naturelle du sol, car sans cela, les cultures vont acidifier les sols. Au Burkina Faso à ce jour, on a moins de 20% des sols pour l'agriculture, car la croissance démographique augmente, tellement qu'il est impossible de faire des jachères aujourd'hui. C'est cela qui a poussé le gouvernement à aller vers le coton transgénique pour améliorer les rendements. Dû au manque de mécanisation, les paysans se sont également rabattus sur les produits chimiques pour réduire le temps de travail. La thématique que vous énoncez là n'est pas pour aujourd'hui. En fait le problème aujourd'hui c'est plutôt la démographie, il faut arrêter le taux de natalité parce que les sols ne suffisent pas, ou bien faut il laisser la démographie grimper tout en se disant qu'on aura des solutions en biotechnologies plus tard ? Tout ça c'est une politique nationale. L'état a mis en place des actions pour réduire le taux de natalité sous la pression de la banque mondiale FMI dans le but d'obtenir un taux de natalité plus bas, pour assurer le remboursement de la dette que le Burkina avait.

Quel genre de mesure ?

Contraception, publicité , mais cela visait des paysans qui ne comprennent pas. L'état a abusé de leur crédulité. C'est la politique nationale qui est d'après moi le challenge de demain.

Le coton transgénique est-il alors la solution ?

Non, je n'ai pas dit ça. le coton Bt a également ses inconvénients, il n'est pas totalement inoffensif sur les sols. Mais on en a besoin actuellement pour ses rendements intéressants, tout comme la majorité des cultures d'Europe qui portent de la transgénèse ! Je ne comprends pas les gens qui disent que les OGM sont malvenus et peu utilisés, c'est faux ! Les OGM il y en a partout ! C'est juste de la sélection végétale plus aboutie. Le débat sur les OGM n'a pas de sens selon moi : quand on regarde le maïs, les microorganismes du sol qui agissent sur la plante à long terme n'ont pas d'impact sur la santé de l'homme. Des abeilles et des papillons peuvent piquer, il y a plein de parasites et ont-ils vraiment des impacts sur la santé de l'homme ? sur le coton Bt qui est arrivé au tout début, des gens sont venus discuter et j'ai posé la question : quand vous prenez la graine d'un coton transgénique ainsi que du sel, lorsqu'on observe la séquence ADN des deux, lequel est le plus évolué ? Ils m'ont répondu que le transgénique est plus évolué et est donc moins toxique que le sel que nous mangeons.

Merci beaucoup pour votre temps.

Fin de l'interview.

Annexe G

Les parties prenantes du projet

Bruno Delvaux, promoteur Agro

Jean-Thomas Cornélis, co-promoteur Agro

Marie-Paule Kestemont, Promotrice LSM et responsable de notre projet ARES.

Johan Yans, Géologue UNamur

Zimin Li, Doctorant à l'UCL

Fabekouré Kambire, ingénieur agronome Burkinabé

Nestor Pouya, Christophe Sebego et Madina Sawadogo, homologues étudiants au au Burkina Faso
(Université Polytechnique de Bobo)

ARES, Organisme de Bourse financeur du micro-projet étudiants Biochar

Adanso, Organisme belge de microcrédits actif au Burkina Faso.

Bibliographie

In :

ADAMS, W.A. et D.A. FITCHETT (1994). *Finance informelle dans les pays en voie de développement*. Lyon : Presses Universitaires de Lyon.

ADTAE. *Association pour le Développement des Techniques et Pratiques Agroécologiques (ADTAE)*. URL : <http://actu-internationale.solidairesdumonde.org/media/02/00/1319087573.pdf> (visité le 29/05/2015).

AFRICA, Cotton Made In. *Cotton Made in Africa : L'initiative de l'Aid by Trad Foundation*. URL : <http://www.cottonmadeinafrica.org/> (visité le 15/03/2015).

AGRIPOWER (2011). "Review from silicon and it's benefits for plants". In : p. 1–65.

AGRISUD, International (2010). "L'agro-écologie en pratique : guide". In :

AGÈS (2015). *La société à finalité sociale (SFS)*. Fiche 3. Liège : Agès ASBL, p. 9.

AIDMR (2011). *Séminaire au Burkina Faso Autonomie semencière et sauvegarde des variétés traditionnelles*. Compte-rendu. AIDMR.

AIDR. *Association pour la Gestion de l'Environnement et le Développement*. URL : <http://www.aidr.org/Association-pour-la-Gestion-de-1.html> (visité le 30/04/2015).

AIDR. *Association pour la Gestion de l'Environnement et le Développement*. URL : <http://www.aidr.org/Association-pour-la-Gestion-de-1.html> (visité le 29/05/2015).

ALBERCA, Mikael Aurelio Doullson (2013). *L'essor de l'agroécologie au Sahel : l'agroécologie au pays des hommes intègres*. URL : <http://karamareporter.mondoblog.org/alimentaire/lessor-de-lagroecologie-dans-les-pays-du-sahel/>.

ALEXANDRE, A., I. BASILE-DOELSCH, T. DELHAYE, D. BORSHNECK, J. C. MAZUR, P. REYERSON et G. M. SANTOS (2015). "New highlights of phytolith structure and occluded carbon location : 3-D X-ray microscopy and NanoSIMS results". In : *Biogeosciences* 12.3, p. 863–873.

ALTERFIN (2015). *alterfin : Microfinance*. URL : <https://www.alterfin.be/fr/microfinance> (visité le 17/03/2015).

ANDERSON, J. et C. MARKIDES (2007). "Strategic Innovation at the Base of the Pyramid". In : *MIT Sloan Management Review* Vol. 49 (No. 1).

ANDERSON, P.S. et I.L. CHAMPAIGN (2013). *Affordable Biochar Production Options Small Cookstoves, Medium Barrels, and Some Large Devices*.

ANGELUCCI, F., J. BALIÉ, H. GOURICHON, A. MAS APARISI et M. WITWER (2013). *Suivi et analyse des politiques agricoles et alimentaires en Afrique*. FAO.

APAD. *APAD*. URL : <https://apadsanguie.wordpress.com/> (visité le 30/05/2015).

APN. *Association pour la protection de la Nature APN*. URL : https://sgp.undp.org/index.php?option=com_sgpprojects&view=projectdetail&id=7109&Itemid=205 (visité le 29/05/2015).

- APPROVEDIA (2015). « *Simple Biochar Kilns* ». URL : http://www.appropedia.org/Simple_Biochar_Kilns (visité le 15/03/2015).
- APSFDF-BF (2011). *Cartographie des interventions en microfinance au Burkina Faso*. Rapport technique. APSFDF-BF.
- AQSOLUTIONS (2010). « *Fabricating a 200L biomass gasifier for making enhanced water filter biochar* ». URL : <http://www.aqsolutions.org/images/2010/06/gasifier-handbook.pdf>.
- AQUASTAT (2015). *Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture : Burkina Faso*. URL : http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/bfa/indexfra.stm (visité le 22/02/2015).
- ARBESTAIN, M.C., S. SAGGAR et J. LEIFELD (2014). "Environmental benefits and risks of biochar application to soil". In : *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Environmental Benefits and Risks of Biochar Application to Soil 191, p. 1–4.
- Avapas. URL : <http://www.fondation-nicolas-hulot.org/blog/tags/avapas> (visité le 14/05/2015).
- AVISE (2014). *Phitrust Partenaires*. URL : <http://www.avise.org/annuaire-des-acteurs/phitrust-partenaires> (visité le 16/03/2015).
- AYAYI, A. et C. NOËL (2008). *Défis et perspectives de la recherche en microfinance*. Rapp. tech. Grenoble : ADERSE.
- AZIZ (2002). "Silicon nutrition and crop production : a review". In : *Department of Soil Science, University of Agriculture, Faisalabad*, p. 181–187.
- BAINVILLE, S. (2009). *Zone cotonnière du Burkina Faso : les gagnants et les perdants d'une révolution agricole*.
- BALIÉ, J. (2012). *Analyse des incitations et pénalisations pour le coton au Mali*. Rome : SPAAA.
- BANQUE, Mondiale (2010). *Dépenses en santé, total (% du PIB)*. La Banque Mondiale. URL : <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SH.XPD.TOTL.ZS> (visité le 28/04/2015).
- (2015). *Echanges commerciaux*. La Banque Mondiale. URL : <http://donnees.banquemondiale.org/theme/echanges-commerciaux> (visité le 30/04/2015).
- (2015). *Burkina Faso : Vue d'ensemble*. URL : <http://www.banquemondiale.org/fr/country/burkinafaso/overview> (visité le 05/12/2015).
- BARKER, R. et K. GOWER (2010). "Strategic Application of story-telling in organizations : Toward Effective Communication in a Diverse World." In : *Journal of Business Communication* 47.3, p. 295–312.
- BASSETT, T. (2009a). "Slim pickings : Fairtrade cotton in West Africa". In : *Elsevier* 41.
- (2009b). "Slim pickings : Fairtrade cotton in West Africa". In : *Elsevier* (No. 41).
- BATES, A. (2012). « *Visit to the Biochar* ». URL : <http://biochar.bioenergylists.org/node/1765> (visité le 15/03/2015).
- BCI. *Better Cotton Initiative*. URL : <http://bettercotton.org/about-bci/members-and-partners/find-members-and-partners/> (visité le 17/05/2015).
- BELLOCQ, F.-X. et A. SILVE (2007). *La crise de la filière coton : conséquences économiques et financières au Burkina Faso*. Document de Travail 48. Agence française de Développement.
- BETTERCROPS (1998). "Functions of Potassium in Plants". In : 83, numéro 3.
- BIOCHAR-INTERNATIONAL (2009). *Exceptional results from biochar experiment in Cameroon*. URL : <http://www.biochar-international.org/cameroon> (visité le 21/05/2015).

- BIOLOGIQUE, Institut de recherche de l'agriculture (2012). *Syprobio*. URL : <http://www.syprobio.net/fr/> (visité le 25/05/2015).
- BIRD (2004). *La Banque internationale pour la reconstruction et le développement : World Data*. URL : <http://www.banquemondiale.org/> (visité le 16/04/2015).
- (2014). *La Banque internationale pour la reconstruction et le développement*. URL : <http://www.banquemondiale.org/> (visité le 17/04/2015).
- BOUMAN, F.J.A. (1977). "Indigenous savings and credit in the Third World. A message". In : *Savings and Development* 1.4, p. 181–219. ISSN : 03934551.
- BUDAI, Alice, Liang WANG, Morten GRONLI, Line Tau STRAND, Michael J. ANTAL, Samuel ABIVEN, Alba DIEGUEZ-ALONSO, Andres ANCA-COUCÉ et Daniel P. RASSE (2014). "Surface Properties and Chemical Composition of Corncob and Miscanthus Biochars : Effects of Production Temperature and Method". In : *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62.17, p. 3791–3799.
- BURKINA-FASO (2015). *Créer une succursale d'une société étrangère : Procédure*. URL : <http://burkinafaso.eregulations.org/procedure/5/12?l=fr> (visité le 05/04/2015).
- CAPROSET. *CAPROSET*. URL : <https://uavescaproset.wordpress.com/les-centres-de-formation/le-caproset/> (visité le 30/05/2015).
- CARDENAS, J., J. BATTILANA et J. MAIR. *Organizing for Society : A Typology of Social Entrepreneurial Models*.
- CENTER FOR HISTORY AND NEW MEDIA. *Guide rapide pour débiter*. URL : http://zotero.org/support/quick_start_guide.
- CHAO, T.T. et R.F. SANZOLONE (1992). "Decomposition techniques". In : *Journal of Geochemical Exploration* 44, p. 65–106.
- CIF (2015). *Présentation du RCPB*.
- CIRAD. *La recherche agronomique pour le développement*. URL : <http://www.cirad.fr/> (visité le 03/03/2015).
- CLUDTS, A. (2015). *La société à finalité sociale et ses caractéristiques*. URL : <http://www.cludts.be/sfs-vso/> (visité le 05/03/2015).
- CMIA. *Coton africain avec une valeur sociale et écologique*. URL : <http://www.cottonmadeinafrica.org/fr/> (visité le 01/05/2015).
- CNSW (2015). *Carte numérique des sols de wallonie, 2015*. URL : <http://cartopro3.wallonie.be/CIGALE/viewer.htm>.
- COHEN, R. et W. SAHLMAN (2013). *Social Impact Investing Will Be the New Venture Capital*. Harvard Business Review Blog Network. URL : <https://hbr.org/2013/01/social-impact-investing-will-b/>.
- COMMISSION-EUROPÉENNE (2014). *Comprendre les politiques de l'Union Européennes : Coopération internationale et développement*. Rapp. tech. Commission Européenne.
- COMMISSION EUROPÉENNE, Direction Générale de l'Agriculture (2007). *Contrat cadre relatif à l'évaluation de l'impact sur l'environnement des mesures des organisations communes de marché et de soutien direct de la PAC*. Contrat cadre numéro 30-CE-0067379/00-89. Alliance Environnement : Groupement Européen d'Intérêt Economique.
- CONGOFORUM (2008). *Appels & offres d'emploi : Biochar Fund cherche une ONG-partenaire au Congo*. URL : <http://www.congoforum.be/fr/nieuwsdetail.asp?subitem=4&newsid=145810&Actualiteit=selected> (visité le 21/05/2015).

- Contrat cadre relatif à l'évaluation de l'impact sur l'environnement des mesures des organisations communes de marché et de soutien direct de la PAC.*
- COORDINATION, Sud (2013). "Répondre aux défis du XXIème siècle avec l'agro-écologie : pourquoi et comment ?" - Les notes de la C2A : Agriculture et alimentation en question". In : *Coordination SUD-Solidarité-Urgence-Développement*.
- CORNELIS, J.-T., B. DELVAUX, R. B. GEORG, Y. LUCAS, J. RANGER et S. OPFERGELT (2011). "Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil-plant systems towards rivers : a review". In : *Biogeosciences* 8.1, p. 89–112.
- Cotton cultivation in Burkina Faso : a 30 year success story* (2004). The International Bank for Reconstruction et Development.
- COTTONCONNECT. URL : <http://www.cottonconnect.org/> (visité le 16/05/2015).
- COULTER, K. (2011). "Hemmed in : the geography of organic fairtrade cotton in Burkina Faso". Thèse de doct.
- CRANE-DROESCH, A., S. ABIVEN, S. JEFFERY et M.S. TORN (2013). "Heterogeneous global crop yield response to biochar : a meta-regression analysis". In : *IOP Publishing*, p. 1–8.
- CROLE-REES, A, L. DIAKITÉ, M. TOURÉ et D. VALENGH (2004). *Coton biologique au Mali : Prix à la production et scénarios de production*.
- CUD (2014). *L'ARES, acteur non gouvernemental de la Coopération belge*. URL : <http://www.cud.be/content/view/461/266/lang,/> (visité le 13/04/2015).
- DAVISTER, C. (2006). *La gestion des ressources humaines en économie sociale*. Les cahiers de la chaire CERA Vol. 1. Chaire CERA.
- DAYO, T. (2013). *African american outlook : Burkina Faso*. français. Rapport annuel. BAfD, OCDE, PNUD, p. 15.
- DE BRIEY, V. (2005). "Plein Feu sur la Microfinance en 2005". In : *Regards économiques*. Institut de recherches économiques et sociales de l'Université Catholique de Louvain 28.
- DE SCHUTTER, O. (2014). *Rapport final : Le droit à l'alimentation, facteur de changement*.
- DEES, G. (2001). *The meaning of "social entrepreneurship"*.
- DEES, G., B. ANDERSON et J. WEI-SKILLERN (2004). "Scaling Social Impact Strategies for spreading social innovations". In : *Stanford Social Innovation Review*.
- DEMIRGUC-KUNT, A., L. KLAPPER, D. SINGER et P. VAN OUDHEUSDEN. *The Global Findex Database 2014 : Measuring Financial Inclusion around the World*. The Global Findex Database 2014 : Measuring Financial Inclusion around the World 7255. World Bank Group.
- Document de stratégie de développement rural à l'horizon 2015* (2004). Ministère du développement rurale.
- DOWD-URIBE, B. (2014). "Liberalisation Failed : Understanding Persistent State Power in the Burkinabè Cotton Sector from 1990 to 2004". In : *Development Policy Review* (No. 32), p. 545–566.
- ECOSYS-CEDRES, sba (2011). *Analyse économique du secteur du coton liens pauvreté et environnement*.
- EMERSON, J., T. FREUNDLICH et J. FRUCHTERMAN (2007). "Nothing ventured nothing gained". In : *Skoll centre for social entrepreneurship*.
- EMERY, B. (2012). *Sustainable Marketing*. Essex : Pearson.

- ENEACONSULTING (2010). *Le marketing social au service des projets de développement*. Rapport réalisé conjointement avec le Groupement de Recherche et d'Echange Technologique (GRET). Paris : Enea Consulting et GRET.
- EPSTEIN (2009). "Silicon : it's manifold roles in plants". In : *Annals of Applied Biology*, p. 155–160.
- EPSTEIN, Emanuel (1999). "Silicon". In : *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50.1, p. 641–664.
- EU (2014). *Corporate Social Responsibility (CSR)*. URL : http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sustainable-business/corporate-social-responsibility/index_en.htm (visité le 03/03/2015).
- FAIRHEAD, J., M. LEACH et I. SCOONES (2014). "Green Grabbing : A New Appropriation of Nature". In : *Routledge*, p. 63.
- FAO (2012). *Burkina Faso - FAOSTAT*. URL : http://faostat.fao.org/CountryProfiles/Country_Profile/Direct.aspx?lang=fr&area=233 (visité le 15/04/2015).
- FAO (2012). *Le warrantage dans le Sud-Ouest du Burkina Faso : Une pratique adaptée aux besoins des petits producteurs et productrices*. Fiche de bonne pratique. FAO.
- (2013). "'Suivi des politiques agricoles et alimentaires en Afrique (SPAAA), revue des politiques agricoles et alimentaire au Burkina Faso'". In : *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- (2015). *2015 Année internationale des sols : DEs sols sains pour une vie saine*. URL : <http://www.fao.org/soils-2015/about/fr/> (visité le 23/02/2015).
- FAO (2015a). *Des sols sains sont le fondement d'une production alimentaire saine*.
- (2015b). *Les sols sont une ressource non renouvelable Leur préservation est essentielle pour garantir la sécurité alimentaire et un avenir durable*. URL : http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils-2015/docs/FR/IYS_fact_sheets_preservation_fr_PRINT.pdf.
- (2015c). *Sols et biodiversité Les sols abritent un quart de la biodiversité de la planète*. URL : http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils-2015/images/FR/WSDPosters_Promotional_Material/Fr_IYS_food_Print.pdf.
- FINANCES, Ministère de l'économie et des (2012). *Stratégie nationale de microfinance et plan d'action*. Rapp. tech. Ministère de l'économie et des finances du Burkina.
- FOK, M. (2005). *Coton africain et marché mondial : une distorsion peut en cacher une autre plus importante*.
- (2011). "Restructurer efficacement les filières cotonnières en Afrique : les leçons de la déréglementation des réseaux de service en Occident". In : *Revue canadienne d'études du développement* 30, p. 483–501.
- FONDATIONENSEMBLE (2015). *Secteurs d'intervention : Agriculture durable*. URL : <http://www.fondationensemble.org/secteurs/01-agriculture-durable/> (visité le 17/03/2015).
- FRUCHTERMAN, J. (2011). "For Love or Lucre". In : *Stanford Social Innovation Review*.
- GABELOUX, M. (2011). *Programme d'appui au développement de l'agroécologie au Burkina Faso : Séminaire autonomie semencière et sauvegarde des variétés traditionnelles*. Programme du Séminaire. Solidarité Internationale.
- GARANÉ, A. (2009). *"Le cadre juridique international du bassin de la Volta"*. IUCN.
- GERVAIS, M. (2004). "Responsabilité et contrôle de gestion". In : *Tous responsables*. Editions d'Organisation, p. 375–392.

- GHIONE, A., F. KAMBOU, T. LE COTTY, E. MAÎTRE D'HÔTEL et G. MALNOURY (2013). *Le warrantage paysan, un outil de protection des ressources*. Rapport 52-62. Grain de Sel.
- GIIN (2014). *Giin : Impact Investing*. URL : <http://www.thegiin.org/cgi-bin/iowa/investing/index.html> (visité le 17/03/2015).
- GONZALEZ, Adrian (2007). *Resilience of Microfinance Institutions to National Macroeconomic Events : An Econometric Analysis of MFI Asset Quality*. Rapp. tech. 1. Doing Business, p. 25.
- GRAY, L. (1999). "Is land being degraded ? a multi-scale investigation of landscape change in south-western Burkina Faso". In : p. 329–343.
- GREGERSEN, H. et A. CONTRERAS (1994). *Evaluation économique des impacts des projets forestiers*. FAO. URL : <http://www.fao.org/docrep/008/t0718f/t0718f07.htm>.
- GUISSOU, R. et F. ILBOUDO (2012). *Analyse des incitants et pénalisations pour le coton au Burkina Faso*. Notes techniques. Rome : SPAA et la FAO.
- GUNTZER, Flore, Catherine KELLER et Jean-Dominique MEUNIER (2012). "Benefits of plant silicon for crops : a review". In : *Agronomy for Sustainable Development* 32.1, p. 201–213. ISSN : 1774-0746, 1773-0155.
- GUO, Jianhua et Baoliang CHEN (2014). "Insights on the Molecular Mechanism for the Recalcitrance of Biochars : Interactive Effects of Carbon and Silicon Components". In : *Environmental Science & Technology* 48.16, p. 9103–9112.
- GUÉRIN, I. (2002). "Microfinance dans les pays du sud : quelle incompatibilité entre solidarité et pérennité". In : *Revue d'Economie Financière*, p. 145–164.
- HAYSON et CHAPMAN (1975). "Some aspects of the Calcium silicate trials at Mackay." In : *Proceedings of the Conference of the Queensland Society of Sugar Cane Technologists* 42, p. 117–122.
- HAZELL, P. (2014). "Repenser le rôle des petites exploitations agricoles dans les stratégies de développement". In : Point de vue 2.
- HELVETAS (2008). "Guide de production du coton biologique et équitable : un manuel de référence pour l'Afrique de l'Ouest". In : *Association Suisse pour la Coopération Internationale*. Sous la dir. d'HELVETAS.
- HELVETAS et SYPROBIO (2013). *Amélioration des revenus et de la sécurité alimentaire des producteurs à travers des Systèmes de Production Biologique diversifiés*.
- HENAO, J. et C.A. BAANANTE (1999). *An evaluation of strategies to use indigenous and imported sources of phosphorus to improve soil fertility and land productivity in Mali. (IFDC)*. International Fertilizer Development Center. USA : Muscle Shoals.
- HENRY, A. (2010). *Micro-crédit / micro-finance*. URL : http://www.ces.ulg.ac.be/fr_FR/services/cles/dictionnaire/m-n/micro-credit-micro-finance (visité le 15/05/2015).
- HOOPWOOD, T. et R. MERRIT (1971). *Big Pocket guide to using social marketing for behaviour change*. London : National Marketing Center.
- HOPE, L., M. SHAKYA et W. LOWENSTEIN (2015). *Assessing the Welfare Impact of Biochar as a Soil Ameliorant on Urban Farmers in West Africa*. Conference program. Bochum, Germany : Institute of Development Research et Development Policy.
- HOUBEN, David, Philippe SONNET et Jean-Thomas CORNELIS (2014). "Biochar from Miscanthus : a potential silicon fertilizer". In : *Plant and Soil* 374.1-2, p. 871–882.
- HOUNDEKON, V. A. (2011). "« Analyse comparative des systèmes de production du coton biologique et du coton conventionnel au Bénin. »". In : *Université d'Abomey Calavi (UAC)*, p. 1–13.

- HUMANISME, Terre \&. *L'agroécologie à taille humaine*. URL : <http://www.terre-humanisme.org> (visité le 18/05/2015).
- HUSK, B et J MAJOR (2012). "Le biochar comme amendement du sol au Québec : résultats agronomiques de quatre ans d'essais terrain." In : *BlueLeaf inc*. P. 30–31.
- ICAC. *International Cotton Advisory Committee*. URL : <https://www.icac.org/> (visité le 20/02/2015).
- IEE (2015). *Urban Food Plus*. URL : <http://www.development-research.org/index.php/research/cluster-3/urban-food-plus.html> (visité le 22/05/2015).
- IFAD (2015). *Investing in rural people*. URL : <http://www.ifad.org/> (visité le 05/01/2015).
- IFDC (2004). *Le Marché des Intrants au Mali, Burkina Faso et Ghana*. Rapp. tech. IFDC.
- IKITOO, E.C. *Gossypium hirsutum L.* URL : <http://www.prota4u.info/protav8.asp?h=M4&t=Gossypium&p=Gossypium+hirsutum>.
- INTERCOOPERATION, HELVETAS Swiss (2015). Promotion du coton biologique et équitable. URL : http://burkinafaso.helvetas.org/fr/activites/projets_burkina_faso/promotion_du_coton_biologique_et_equitable/ (visité le 05/01/2015).
- INTERCULTURES (2009). *Information culturelle – Burkina Faso*. URL : <http://www.intercultures.ca/cil-cai/ci-ic-fra.asp?iso=bf#cn-6> (visité le 05/09/2015).
- INTERNATIONAL, Centre de commerce (1994). *Le guide de l'exportateur de coton : Les Indices de Cotlook*. URL : <http://www.guidedecoton.org/guide-du-coton/les-Indices-de-cotlook/?menuID=3920> (visité le 04/05/2015).
- JANIN, S. (2010). *"Burkina Faso : Pays des hommes intègres"*. Olizane.
- JANSSEN, F. (2009). *Entreprendre : Une introduction à l'entrepreneuriat*. Bruxelles : De Boeck.
- JANSSEN, F. et S. BACQ (2011). *The multiple faces of social entrepreneurship : A review of definitional issues based on geographical and thematic criteria, Entrepreneurship & Regional Development*, p. 373–403.
- JEUNE, Afrique, éd. (2005). *Atlas de l'Afrique - Burkina Faso*. Jeune Afrique. Paris.
- JOSEPH, S.D., M. CAMPS-ARBESTAIN, Y. LIN, P. MUNROE, C.H. CHIA, J. HOOK, L. van ZWIETEN, S. KIMBER, A. COWIE, B.P. SINGH, J. LEHMANN, N. FOIDL, R.J. SMERNIK et J.E. AMONETTE (2010). "An investigation into the reactions of biochar in soil". In : *Soil Research* 48.7, p. 501–515.
- KABORÉ, Souleymane et Michel GERVAIS (2006). *Quels systèmes d'animation pour l'entreprise burkinabé ?*
- KAGONE, Hamadé (2001). *"Country Pasture/Forage Resource Profiles : Burkina Faso"*. URL : <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/counprof/burkinaFeng.htm> (visité le 22/02/2015).
- KALRA, Y.P. et D.G. MAYNARD (1991). "Methods manual for forest soil and plant analysis". In : *Information report NOR-X-319*, p. 1–125.
- KAMBIRÉ, S.H. et L. SOMÉ (2013). *L'agro-écologie au Burkina Faso : technologie mises au point par l'INERA-Burkina Faso*.
- KAMINSKI, J. (2007). *Réforme de la filière cotonnière burkinabé : Analyse des impacts économiques et sociaux sur les producteurs et implications des organisations agricoles*.
- (2014). "Subjective Wealth and Satisfaction with Policy Reform : Evidence from the Cotton Reform Experience in Burkina Faso". In : *Journal of African Economies* Vol. 23 (No. 4), pp. 528–581.
- KAMINSKI, J. et A. THOMAS (2011). "Land Use, Production Growth, and the Institutional Environment of Smallholders : Evidence from Burkinabe Cotton Farmers". In : *Land Economics* (No. 87), p. 161–182.

- KESSY, Z. (1998). *Culture africaine et gestion de l'entreprise moderne*. CEDA.
- KETTLER, T. et B. ZANNER (2009). *Soil Genesis and Development, Lesson 5 - Soil Classification and Geography : 5.10 - Oxisols*. URL : <http://passel.unl.edu/pages/informationmodule.php?idinformationmodule=1130447032&topicorder=11&maxto=16&mino=1>.
- KEYSER, J. (2013). *Ouvrir les marchés au commerce des semences en Afrique*.
- KLAISS, M., M. MESSMER, D. FORSTER, R. VERMA, R. BARUAH, V. RAWAL, R. MANDLOI et Y. SHRIVAS (2012). "Influence of the fast spread of bt cotton on organic cotton production : examples from India and Burkina Faso". In : *Scientific Conference 2012 Advancing the Understanding of Biosafety, GMO Risk Assessment, Independent Biosafety Research and Holistic Analysis*, pp. 107–118.
- KOIDE, Roger T., Binh T. NGUYEN, R. Howard SKINNER, Curtis J. DELL, Matthew S. PEOPLES, Paul R. ADLER et Patrick J. DROHAN (2014). "Biochar amendment of soil improves resilience to climate change". In : *GCB Bioenergy*, n/a–n/a.
- KOTLER, P. et G. ZALTMAN (1971). "Social marketing : An approach to planned social change". In : *Journal of Marketing*.
- LA-LIBRE (2015). *Légère augmentation de l'aide belge aux pays les moins développés*. URL : <http://www.lalibre.be/economie/actualite/legere-augmentation-de-l-aide-belge-aux-pays-les-moins-developpes-552556a43570fde9b295bc22> (visité le 18/03/2015).
- LAMSA, A.-M. et T. SINTONEN (2006). "A narrative approach for organizational learning in a diverse organisation." In : *Journal of Workplace Learning* 18, p. 106–120.
- LE-REPORTIER-TECHNIQUE (1985). *Qu'est-ce qu'une coopérative d'épargne et de crédit ?* Rapp. tech. Vol 2, numero 2. Le Conseil Mondial des Coopératives d'Epargne et de Crédit.
- LEHMANN, Dr Johannes et Stephen JOSEPH (2009). *Biochar for Environmental Management : Science and Technology*. London : Earthscan.
- LEHMANN, J. (2007). "Bio-energy in the black". In : *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(7), p. 381–387.
- LEHMANN(B), J. (2007). "Handful of Carbon". In : *Nature Publishing Group* Vol 447.
- LELART, M. (2006). *De la finance informelle à la microfinance*. AUF et Editions des Archives Contemporaines.
- "Les salaires du Burkina Faso" (2012). URL : www.journaldunet.com/business/salaire/burkina-faso/pays-bfa (visité le 15/04/2015).
- LINKEDIN (2015). *Profile : Laurens Rademakers*. URL : <https://www.linkedin.com/pub/laurens-rademakers/2/33a/259/fr> (visité le 21/05/2015).
- LIU, Xiaoyu, Lianqing LI, Rongjun BIAN, De CHEN, Jingjing QU, Grace WANJIRU KIBUE, Genxing PAN, Xuhui ZHANG, Jinwei ZHENG et Jufeng ZHENG (2014). "Effect of biochar amendment on soil-silicon availability and rice uptake". In : *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177.1, p. 91–96.
- LUYSSAERT, S., E.D. SCHULZE, A. BÖRNER, D. HESSENMÖLLER, B.E. LAW, P. CIAIS et J. GRACE (2008). "Old-growth forests as global carbon sinks". In : *Nature*, 455, p. 213–215.
- MACARTHURFOUNDATION (2015). *MacArthurFoundation : Explore our Grantmaking*. (Visité le 17/03/2015).
- MANUSCO, J. et K. STUTH (2014). "Storytelling and Marketing : The Perfect Pairing?" In : *Marketing Insights* 26.3, p. 18–19.

- MARQUIS, C. et A. PARK (2014). "Inside the Buy-One Give-One Model". In : *Stanford Social Innovation Review*.
- MARTIN, G. (2012). *Les pièges du but (non) lucratif*. Newsletter. Meritius Avocats.
- MAYAUX, F. et R. REVAT (1993). *Le marketing pour associations : l'efficacité au service de vos valeurs*. Liaisons. Paris.
- MEENA, V. D., M. L. DOTANIYA, Vassanda COUMAR, S. RAJENDIRAN, AJAY, S. KUNDU et A. SUBBA RAO (2014). "A Case for Silicon Fertilization to Improve Crop Yields in Tropical Soils". In : *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B : Biological Sciences* 84.3, p. 505–518.
- MESPLÉ-SOMPS, S., A. ROBILLIARD, J. GRÄB, D. COGNEAU et M. GRIMM (2008). "Coton et pauvreté en Afrique de l'Ouest : analyse comparée des conditions de vie des ménages au Mali et au Burkina Faso". In : *Série Analyses d'impact Ex Post* (No. 1).
- MEUNIER, Jean-Dominique (2003). "Le rôle des plantes dans le transfert du silicium à la surface des continents". In : *Comptes Rendus Geoscience* 335.16, p. 1199–1206.
- MONTANARELLA, Luca et Emanuele LUGATO (2013). "The Application of Biochar in the EU : Challenges and Opportunities". en. In : *Agronomy* 3.2, p. 462–473.
- MUSY, André (2005). "Cours Hydrologie générale, 'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)". In :
- MYPOSITIVEIMPACT (2014). *Cajouvalor*. URL : <http://www.mypositiveimpact.org/projets/solution/item/cajouvalor-44> (visité le 21/05/2015).
- NELISSEN, Victoria, Greet RUYSSCHAERT, Delphine MANKA'ABUSI, Tommy D'HOSE, Kristof DE BEUF, Bashar AL-BARRI, Wim CORNELIS et Pascal BOECKX (2015). "Impact of a woody biochar on properties of a sandy loam soil and spring barley during a two-year field experiment". In : *European Journal of Agronomy* 62, p. 65–78.
- NEPAD-OCDE (2011). *Cadre d'action pour l'investissement agricole au Burkina Faso*, p. 4–8.
- NICHOLLS, J., E. LAWLOR, E. NEITZERT et T. GOODSPEED (2009). *Guide du retour social sur investissement (SROI)*. URL : http://www.avise.org/sites/default/files/atoms/files/20140204/201105_Essec_GuideSROI.pdf (visité le 20/05/2015).
- NOISETTE, C. (2012). « OGM au Burkina Faso : presque moitié moins de Coton Bt cultivé, selon le directeur de la Sofitex. » *Inf'OGM, veille citoyenne*. URL : <http://www.infogm.org/OGM-au-Burkina-Faso-presque-moitie> (visité le 27/03/2015).
- Note d'Information sur la filière coton du Burkina*. (2008). Association Interprofessionnelle du Coton du Burkina.
- NOVETHIC. *Le média expert de l'économie responsable*. URL : <http://www.novethic.fr/> (visité le 25/05/2015).
- NUBUKPO, K. et M. KEITA (2006). "Prix mondiaux, prix au producteur et avenir de la filière coton au Mali*". In : *Cahiers Agricultures* Vol. 15 (No. 1).
- OCDE (2003). *Fondations philanthropiques et coopération pour le développement*. Tiré-à-part des dossiers du CAD Vol.4 n.3. OCDE et CAD.
- (2012). *Cadre d'action pour l'investissement agricole au Burkina Faso*. Français. URL : http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/finance-and-investment/cadre-d-action-pour-l-investissement-agricole-au-burkina-faso_9789264169098-fr (visité le 03/03/2015).

- OHADA.COM (2014). *L'Organisation pour l'Harmonisation en Afrique du Droit des affaires : A propos de l'OHADA*. URL : <http://www.ohada.com/ohada/a-propos.html> (visité le 05/07/2015).
- OLMO, Manuel, José Antonio ALBURQUERQUE, Vidal BARRÓN, María Carmen del CAMPILLO, Antonio GALLARDO, Mariano FUENTES et Rafael VILLAR (2014). "Wheat growth and yield responses to biochar addition under Mediterranean climate conditions". In : *Biology and Fertility of Soils* 50.8, p. 1177–1187.
- OLSEN, T. (2011). "When the market meets the state : Microfinance regulation in emerging economies". Thèse de doctorat non publiée. University of Wisconsin.
- ONATE, S. (2012). *Les organisations de producteurs en Afrique de l'Ouest et du Centre : attentes fortes, dures réalités*.
- OUDET, M. (2003). *Dossier OGM : A qui profitent les O.G.M. ?* URL : <http://www.abcburkina.net/fr/nos-dossiers/dossier-ogm/380-1-a-qui-profitent-les-ogm> (visité le 15/03/2015).
- OUEDRAOGO, A., L. YOMBI, S. DOUMBIA, F. DOUMBIA et R. DISCHL (2008). *Guide de production du coton biologique et équitable*.
- PINEAU, M. (2009). *Etude d'impact du programme coton bio et équitable d'Helvetas au Burkina Faso*. Helvetas.
- PIRO, P. (2012). *Burkina Faso - les grandes ombres du coton OGM*. URL : <http://ccfd-terresolidaire.org/fdm/2012/269-novembre-2012/dossier-semences/burkina-faso-les-4175> (visité le 20/05/2015).
- PNUD (2011). *Plan d'Action du Programme de Pays 2011-2015 – Burkina Faso*. Rapp. tech. PNUD. URL : http://www.bf.undp.org/content/dam/burkina_faso/docs/operations/UNDP_bf_cpap11_15.pdf (visité le 15/03/2015).
- POUYA, M., M. BONZI, Z. GNANKAMBARY, K. TRAORE, J. OUEDRAOGO, A. SOME et M. SEDOGO (2013). "Pratiques actuelles de gestion de la fertilité des sols et leurs effets sur la production du cotonnier et sur le sol dans les exploitations cotonnières du Centre et de l'Ouest du Burkina Faso". In : Vol. 22 (No. 4).
- PRONATURA (2012). *ProNatura, cultivateur de filières de fruits et légumes 100 pourcent bio*. URL : <http://www.pronatura.com/qui-sommes-nous/pronatura-1er-reseau-de-maraichers-et-arboriculteurs-bio/> (visité le 23/05/2015).
- PROVANCE-BOWLEY, Mary (2013). "Silicon Research Summaries on Dicotyledonous Crops". In : *CrossOver*, p. 35.
- RANSOM, D. (2008). "Starting Up : Funding Your Social Venture". In : *The Wall Street Journal*. "réforme de la filière". In :
- ROBERT et D TESSIER (1974). "Méthode de préparation des argiles des sols pour des études minéralogiques". In : *Annales Agronomiques* 25, p. 268–272.
- ROBINSON, J. et S. SIMMS (2009). *Activist or entrepreneur ? : an identity-based model of social entrepreneurship*.
- ROBINSON, M. et G. WRIGHT (2001). *Mobiliser l'épargne. Fiche de synthèse numero 3 de Microsave*. URL : http://www.ruralfinance.org/fileadmin/templates/rflc/documents/1149599046641_BN_3___Mobilising_Savings_french_1_.pdf (visité le 04/10/2015).
- ROGER, L., M. OSBERG et S. OSBERG (2007). "Social Entrepreneurship : The Case for Definition". In : *Stanford Social Innovation Review*.

- ROGERS, J. et A. AUGUSTINE (2011). « *Biochar Kiln and Process Design* ». URL : <https://www.youtube.com/watch?v=dqkWYM7rYpU> (visité le 15/03/2015).
- ROSA, José M. de la, Marina PANEQUE, Ana Z. MILLER et Heike KNICKER (2014). "Relating physical and chemical properties of four different biochars and their application rate to biomass production of *Lolium perenne* on a Calcic Cambisol during a pot experiment of 79 days". In : *Science of The Total Environment* 499, p. 175–184.
- ROUILLER, J., G. BURTIN et B. SOUCHIER (1972). "La dispersion des sols dans l'analyse granulométrique. Méthode utilisant les résines échangeuses d'ions". In : *ENSAIA, Nancy 14*, p. 194–205.
- SALONER, G. et B. COATES (2009). "The Profit in Nonprofit". In : *Stanford Social Innovation Review*.
- SAVADOGO, K. "Adoption of Improved Land Use Technologies to Increase Food Security in Burkina Faso : Relating Animal Traction, Productivity, and Non-Farm Income". In :
- SAVADOGO, K., T. REARDON et K. PIETOLAC (1998). "Adoption of Improved Land Use Technologies to Increase Food Security in Burkina Faso : Relating Animal Traction, Productivity, and Non-Farm Income". In : Elsevier Science Ltd. Vol. 58 (No. 3), pp. 441±464.
- SÉBÉGO, R.C. (2013). "*Rapport de stage de fin d'étude : Perception paysanne de l'introduction du coton Bt au Burkina Faso : cas de la zone de Dano.*". Rapp. tech. Université polytechnique de Bobo-Dioulasso (U.P.B.)
- SCHEIN, E. (1988). *Organizational Culture and Leadership*. 3rd Edition. San Francisco : Jossey-Bass. ISBN : 0-7879-6845-5.
- SCHERR, S.J. et S. YADAV (1996). *Land Degradation in the Developing World : Implications for Food, Agriculture, and the Environment to 2020*. URL : <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/vp14.pdf> (visité le 02/10/2015).
- SCHOLLENBERGER, C.J. et R.H. SIMON (1945). "Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soils," in : *Soil Sci.*, 59, p. 13.
- SEITZ, A. (2011). *Communiqué de presse : Coton organique : C&A confirme sa position en tant que leader du marché*. E-mail.
- SILANIKOVE, N. et D. LEVANON (1986). "Cotton straw : composition, variability and effect of anaerobic preservation". In : *Biomass* 9, p. 101–112.
- Sofitex*. URL : <http://www.sofitex.bf/> (visité le 18/02/2015).
- SOHI, S. P., E. KRULL, E. LOPEZ-CAPEL et R. BOL (2010). "Chapter 2 - A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil". In : *Advances in Agronomy*. Sous la dir. de DONALD L. SPARKS. T. Volume 105. Advances in Agronomy. Burlington : Academic Press, p. 47–82.
- SONG, Z.L., H.L. WANG, P. J. STRONG, Z.M. LI et P.K. JIANG (2012). "Plant impact on the coupled terrestrial biogeochemical cycles of silicon and carbon : Implications for biogeochemical carbon sequestration." In : *Earth-Science Reviews* 115, p. 319–331.
- SPARKES, Jessica et Peter STOUTJESDIJK (2011). *Biochar : implications for agricultural productivity*. Rapp. tech. 11.06. Australia : Australian Bureau of Agricultural, Resource Economics et Sciences, p. 1–54.
- SPF ECONOMIE PME, Classes moyennes et Energie (2011). *Les coopératives : agrément des sociétés coopératives*. URL : http://economie.fgov.be/fr/entreprises/vie_entreprise/Creer/structurer_projet/formes_societes/Societes_cooperatives/Agrement_societes_cooperatives/#.VWw59WDYC_F (visité le 05/04/2015).

- ST. LOUIS, Federal Reserve Bank of. *FRED Economic Data*. Economic Research. URL : <http://research.stlouisfed.org/fred2/categories/32672?cid=32672&t=&et=&pageID=2> (visité le 18/05/2015).
- SYPROBIO (2012). *Atelier de Pilotage du Projet Syprobio 2012*. Rapport général. Natitingou : Syprobio.
- THIRY, M., F. QUESNEL, K. YANS, R. WYNS, A. VERGARI, H. THEVENIAUT, R. SIMON-COINÇON, C. RICORDEL, M.-G. MOREAU, D. GIOT, C. DUPUIS, L. BRUXELLES, J. BARBARAND et J.-M. BAELE (2006). "Continental France and Belgium during the early Cretaceous : paleoweatherings and paleolandforms." In : *Bulletin de la Société Géologique de France* t. 177, numéro 3, p. 155–175.
- TOILLIER, A. *Fiche de proposition de stage 2014*. URL : <http://afrique-ouest-continentale.cirad.fr/content/download/4317/32974/version/1/file/TdR+Stage+2014-coton+bio+Est.pdf> (visité le 20/05/2015).
- TOWNSLEY, L. (2014). « *Biochar Charcoal kiln : Weekly project #04* ». URL : <http://www.uncommonheritage.com/2014/03/04/biochar-charcoal-kiln-weekly-project-04/> (visité le 15/03/2015).
- TRAORE, S. (2015). *UNPCB : des producteurs de coton veulent la tête de Karim Traoré*. Burkina24. URL : <http://burkina24.com/2015/01/13/unpcb-des-producteurs-de-coton-veulent-la-tete-de-karim-traore/>.
- TUAN, M. (2008). *Measuring and/or estimating social value creation : Insights Into Eight Integrated Cost Approaches*.
- VAN KOTE, G (2011). *Un quart des sols mondiaux sont très dégradés selon les Nations Unies*. URL : http://www.lemonde.fr/planete/article/2011/11/29/un-quart-des-sols-mondiaux-sont-tres-degrades-selon-les-nations-unies_1610670_3244.html (visité le 24/02/2015).
- VENOT, J.-P., M. TOROU BIO et D. WILLIAM'S (2014). "Territorialisation ou spatialisation : les agences et comités locaux de l'eau au Burkina Faso". In : *L'Espace géographique* 43, p. 148–163.
- VERHEIJEN, F. (2010). "Biochar application to soils : a critical scientific review of effects on soil properties processes and functions." In : *JRC Scientific and Technical Reports*, p. 1–166.
- VOLTAIRENET (2014). *Burkina Faso : coup d'Etat dans la Révolution*. URL : <http://www.voltairenet.org/article185817.html> (visité le 05/12/2015).
- WAMPFLER, B. et C. LAPENU (2002). *Fiche 3 : financer l'investissement à moyen terme : exemples et enseignements des expériences de leasing des CECAM (Madagascar) et de l'ANED (Bolivie)*. URL : http://www.ruralfinance.org/fileadmin/templates/rflc/documents/1146727449047_FichDak3Leasing.pdf (visité le 26/04/2015).
- WANG, H. et C. LI (2001). "Chapter 21 Agricultural utilization of silicon in China". In : *Elsevier Science B.V.* P. 343–358.
- WEATHERONLINE. *Informations météorologiques de Bobo-Dioulasso : climat*. URL : <http://www.wofrance.fr/weather/maps/city?LANG=fr&CEL=C&SI=kph&MAPS=over&CONT=afri&LAND=HV®ION=0010&WMO=65510&UP=0&R=0&LEVEL=160&NOREGION=1> (visité le 28/10/2014).
- WEINREICH, N.K (1999). *Hands-on Social Marketing - A step by step guide*. SAGE.
- WHITE, J. (2015). « *Promotion of Clean Emissions Charcoal Production and Use of Biochar* ». URL : http://www.biochar-international.org/sites/default/files/TLUD%26Biochar%20Report_Thailand_for_IBI.pdf (visité le 15/03/2015).
- WOOLF, Dominic (2008). *Biochar as a Soil Amendment : A Review of the Environmental Implications*. Report. Swansea University.

- WORLD FUTURE COUNCIL, 81 Councillors of the (2013). *Choice of Monsanto betrays world food prize purpose, say global leaders*. worldfuturecouncil. URL : <http://www.worldfuturecouncil.org/worldfoodprize2013.html#.VWcW0vntmkp> (visité le 16/04/2015).
- XIAO, Xin, Baoliang CHEN et Lizhong ZHU (2014). "Transformation, morphology, and dissolution of silicon and carbon in rice straw-derived biochars under different pyrolytic temperatures". In : *Environmental Science & Technology* 48.6, p. 3411–3419.
- YANS, J. (2003). "An overview of the saprolites of Belgium and their potential kaolinitic supplies to Mesozoic and Cainozoic sediments." In : *Géologie de la France* 1, p. 33–37.
- YANS(B), J. (2014). *Rapport d'excursion à la carrière de Kaolin de Transinne Rédigé par Dufour N.* Rapp. tech. Belgique.
- ZAHRA, S., H. RAWHOUSER, N. BHAWA, D. NEUBAUM et J. HAYTON (2008). "Globalization of social entrepreneurship opportunities". In : *Strategic Entrepreneurship Journal* (No. 2), p. 117–131.
- ZETT, J.-B. (2013). "Les organisations d'économie sociale et solidaire au Burkina Faso et les pouvoirs publics". Thèse de doctorat non publiée. Université de Ouagadougou.