



POLE FINANCE CARBONE

ÉTUDE DE FAISABILITE DE LA METHODOLOGIE VCS SALM

*Marina Gavalvão
Yann François*

2013

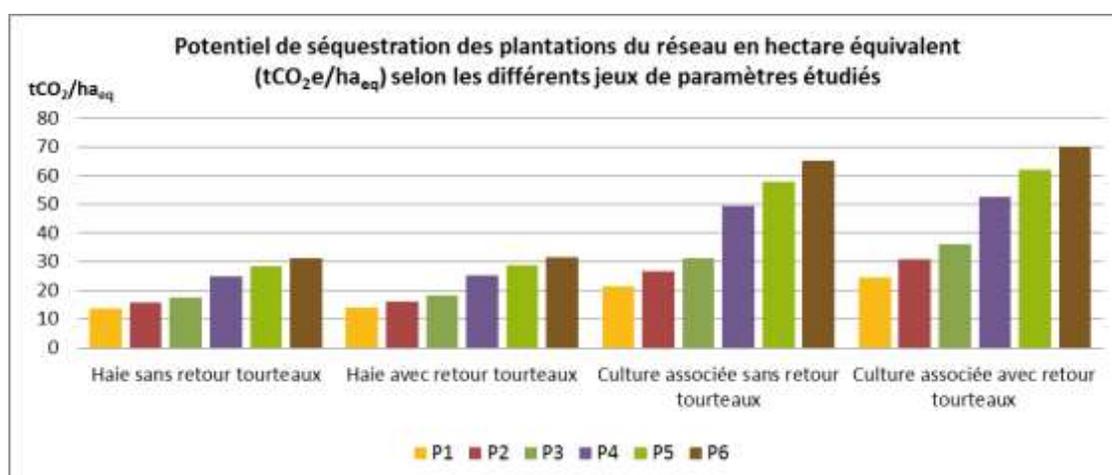
Le réseau JatroREF a pour objectif la construction de référentiels permettant de caractériser la viabilité socio-économique et la durabilité environnementale des filières paysannes de production d'agrocarburants à base de Jatropha en Afrique de l'Ouest. Il est animé par le bureau d'études associatif IRAM, en partenariat avec l'ONG GERES. JatroREF cherche à favoriser les échanges opérationnels entre porteurs de projets, et avec les acteurs institutionnels, la recherche et les organisations paysannes concernés directement par les enjeux liés au développement des agrocarburants locaux. La constitution de groupes de travail thématiques favorise la concertation et le partage d'expérience entre participants. Le réseau met également en œuvre des moyens d'étude dédiés. JatroREF diffuse ensuite l'information à un public plus large, à travers diverses publications - rapports d'étude, notes pédagogiques- et des ressources documentaires, accessibles sur son site Internet www.jatroref.org.

RESUME EXECUTIF

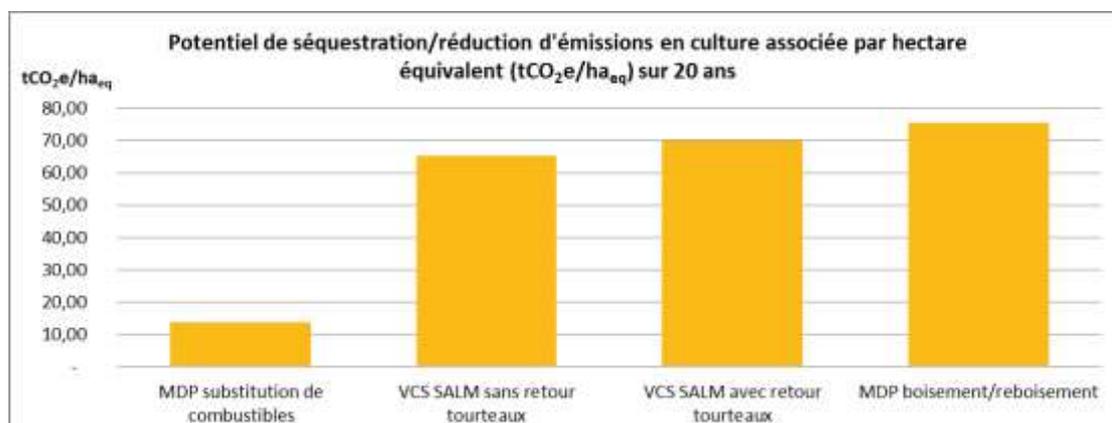
Les projets de production d'agrocarburants à partir de jatropha connaissent des difficultés liées à des besoins d'investissement élevés sans retour pendant les premières années de plantation ainsi qu'un besoin en fond de roulement important pour viabiliser leur modèle économique. Pour répondre à ces enjeux, plusieurs projets du réseau ont utilisés des mécanismes de finance carbone (voir [fiches outils sur la Finance carbone](#) pour des informations générales)

Cette étude a évalué la faisabilité d'un projet de certification carbone pour quatre membres du réseau (Alterre Bénin & Mali, Aprojer et Genèse), AI selon les méthodologies de gestion durable des terres agricoles (VCS SALM) de boisement/reboisement (MDP AR-AMS0007) à partir de données terrain et bibliographique. La faisabilité d'un projet de certification carbone a été évalué selon trois axes ; technique ; économique et opérationnel.

Les paramètres utilisés pour modéliser la plantation de jatropha ont une influence très importante sur le potentiel de séquestration. L'équation allométrique utilisée pour estimer la biomasse des plants à partir du diamètre est très significative dans le résultat final. Une étude des projets carbone validés, montre une forte variation dans les équations utilisées. Entre le jeu de paramètres le plus conservateur et le jeu de paramètres utilisé dans le cadre de l'étude, le potentiel de séquestration varie de 141%.



Il ressort de cette étude que le potentiel de séquestration selon la méthodologie SALM est plus faible que celui pouvant être observé dans le cadre des méthodologies de boisement/reboisement. Cela semble indiquer que ces méthodologies surévaluent la séquestration de carbone dans le sol par l'utilisation de valeurs par défaut non applicables aux plantations de jatropha. Le potentiel selon cette méthodologie reste cependant bien plus élevé que pour des méthodologies de substitution de combustibles.



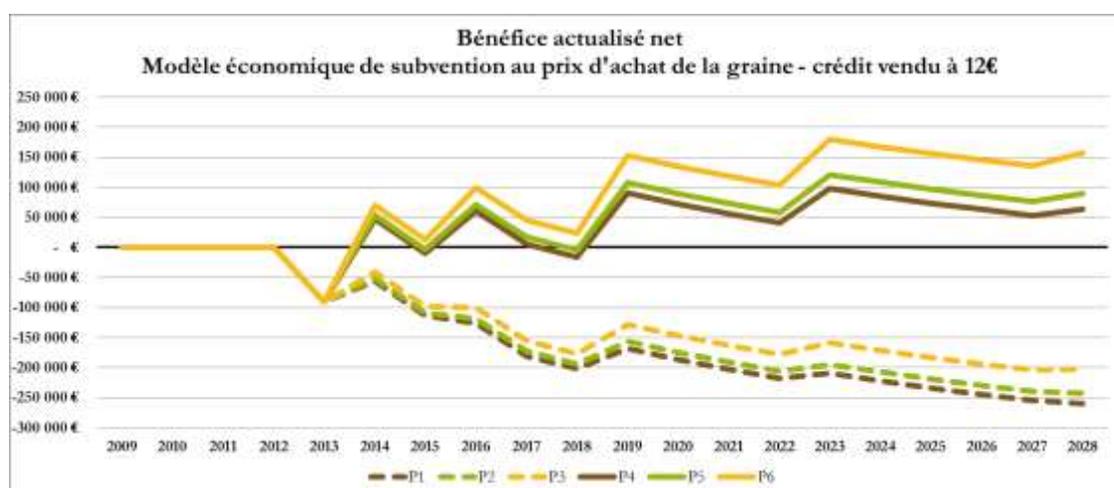
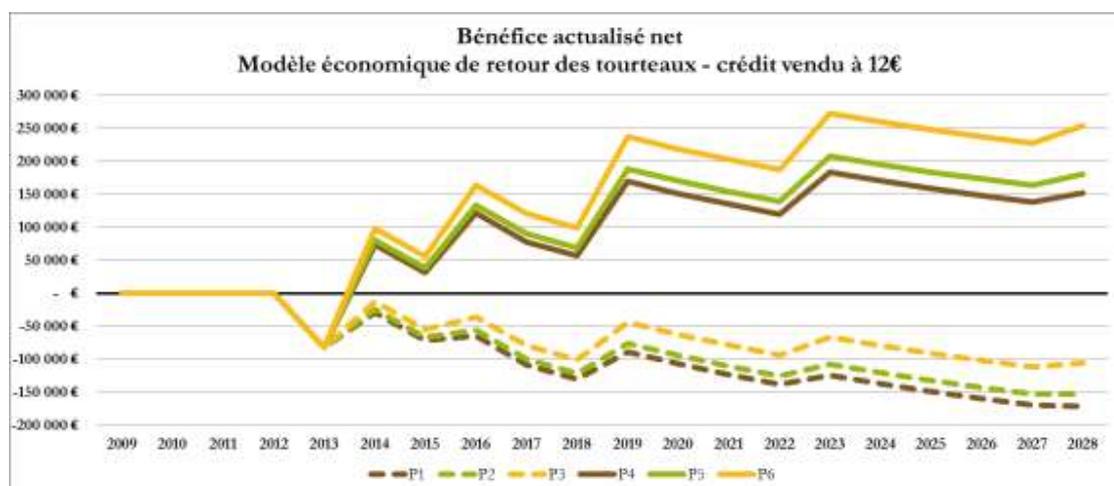
L'analyse du potentiel économique a été effectuée selon deux scénarios, visant à répondre aux enjeux des projets du réseau tout en assurant l'ensemble de la démarche de certification.

Deux modèles économiques d'incitations à planter ont été testés :

1. Subvention du prix d'achat de 40FCFA/kg (- 10%/an pendant 5 ans) et financement de 10 agents de suivi sur 20 ans.
2. Financement du coût d'opportunité du retour de 60% des tourteaux pendant 5 ans et financement de 10 agents de suivi sur 20 ans

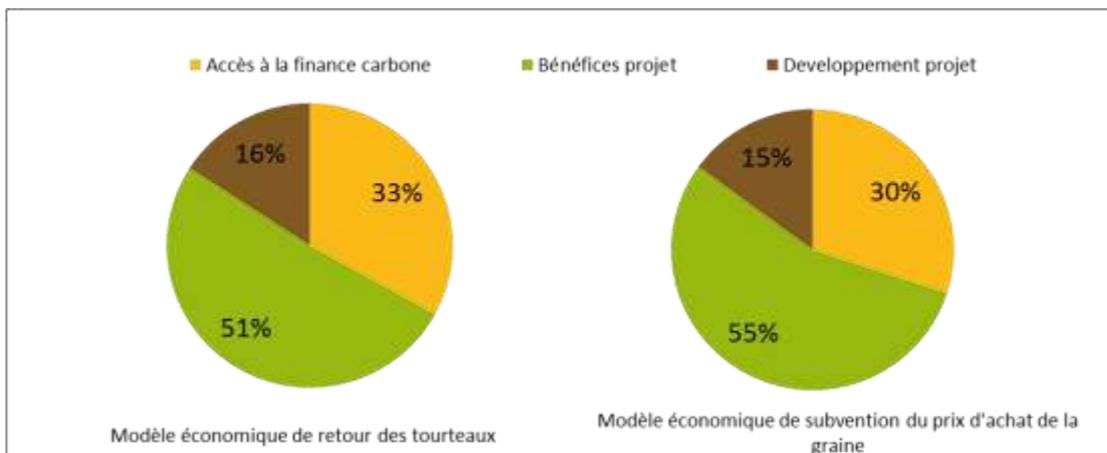
La pertinence d'un modèle a été validé à partir du moment où le bénéfice actualisé net est positif après avoir financé toutes les incitations à la plantation.

L'analyse des bénéfices issus de la vente de crédits carbone a montré qu'il était possible de générer des bénéfices tout en améliorant le suivi et créant des incitations financières et techniques à la plantation de jatropha par les agriculteurs, s'attaquant donc à l'un des obstacles identifiés par les porteurs de projets.



Le modèle économique de subvention donne un bénéfice actualisé net inférieur, cela est notamment un potentiel de séquestration inférieur et des coûts en incitations à planter supérieurs.

Parmi les coûts du projet, les coûts apportant des bénéfices au projet (incitations et suivi) représentent plus de la moitié des coûts totaux ; ensuite viennent les coûts d'accès à la finance carbone (frais de vente des crédits carbone, audits et gestion des crédits) puis les frais de développement (études, rédaction de la documentation carbone).



Les exigences d'un projet de finance carbone sont élevées, en termes d'études et de suivi. Il semble cependant que ces exigences puissent répondre à de nombreux enjeux rencontrés par les porteurs de projets. La localisation GPS des plantations, couplée à un suivi rigoureux de la production peut en effet permettre d'optimiser la localisation des centres d'extraction et donc la viabilité économique des filières.

Il reste que malgré des montants relativement limités ; une moyenne de 15 000 crédits carbone par an ; l'image du jatropha peut rebuter des acheteurs de crédits carbone. L'utilisation de la méthodologie SALM et le suivi du carbone des sols pourrait contribuer à argumenter l'impact des plantations sur les systèmes agricoles. La récente ouverture du standard Gold Standard aux méthodologies de boisement/reboisement pourrait également représenter une opportunité intéressante pour valoriser l'image des projets.

Les standards carbone ont des règles qui limitent l'éligibilité d'un projet ayant commencé au-delà d'un certain nombre d'années. Une réflexion doit donc être menée au sein de projets sur la pertinence de ce type de mécanismes, mais aussi sur la valorisation de ce type de résultats dans le cadre de mécanismes émergents de finance climat.

Introduction

La présente étude a été menée entre avril 2012 et juillet 2013 par le pôle finance carbone du réseau JatroREF. Son objectif est de mettre en lumière le potentiel de co-financement des activités des membres du réseau JatroREF par la méthodologie de finance carbone VCS SALM.

Les filières de production d'huile de Jatropha souffrent d'une rentabilité limitée pouvant mettre en péril la viabilité de ces activités. Parallèlement les plantations de Jatropha ont le potentiel de générer des crédits carbone par la séquestration de gaz à effet de serre dans la biomasse et les sols, ainsi que par la substitution de combustible fossile. La finance carbone et notamment le Mécanisme de Développement Propre (MDP) (voir Annexe 1 : le Mécanisme de Développement Propre) a montré qu'elle était capable de générer à bas coût, d'importantes réductions d'émissions de gaz à effet de serre. Compte tenu de la répartition et la typologie des projets MDP, sa participation au développement durable reste cependant débattue (Boyd & al., 2009, CDC Climat, 2012a).

Plusieurs projets du réseau JatroREF ont utilisé ce type de mécanismes pour financer leurs activités. Début 2013, seuls deux projets en Afrique de l'Ouest ayant validé des PDD¹ ont été recensés. Ces projets sont basés sur des méthodologies de substitution de combustibles (MDP) et de boisement/reboisement pour projets d'agroforesterie (VCS) (Eco-Carbone, 2012b, SOCOCIM Industries, 2011). Des études précédentes effectuées auprès de membres du réseau ont montrées le faible potentiel des méthodologies de substitution de combustibles par rapport aux méthodologies de boisement/reboisement.

Un troisième type de méthodologie développé plus récemment est apparu intéressant pour les plantations de jatropha, les méthodologies de gestion durable des terres agricoles (SALM en anglais) qui comptabilisent la séquestration de carbone organique dans les sols.

La séquestration de carbone dans les sols

Selon Bernoux (2006) la séquestration de carbone dans le sol d'un système par rapport à un système de référence « doit être considérée comme le résultat pour une période et une surface donnée de la différence nette de tous les gaz à effet de serre exprimés en C-CO₂ équivalent ou CO₂ équivalent comprenant toutes les sources d'émission de l'interface sol-plante-atmosphère, mais aussi les émissions indirectes (essence, émission entériques etc.) ».

L'idée de générer des crédits carbone par la séquestration de carbone dans les sols n'est pas nouvelle (Batjes, 2001, Lal, 2004, Ringius, 2002). Le potentiel d'atténuation est en effet très important. Selon le quatrième rapport d'évaluation du GIEC, la séquestration de carbone dans les sols représenterait jusqu'à 89% du potentiel d'atténuation du secteur agricole (Smith & Martino, 2007). Au-delà des crédits carbones générés, la mise en place de telles pratiques peut apporter de nombreux bénéfices en terme de rendements agricoles, d'efficacité de l'utilisation d'intrants, de lutte contre l'érosion, de préservation de la biodiversité du sol (Lal, 2010). Malgré ce potentiel et un lobbying de la part de grandes institutions (FAO, 2008b) et conventions internationales (UNFCCC, 2008) seuls les projets AFOLU² de boisement/reboisement restent éligibles au MDP. Cela peut s'expliquer par des raisons politiques (Nature, 2000) mais aussi scientifiques, techniques et économiques (Garcia-Oliva & Masera, 2004). En effet le carbone organique des sols possède une forte variabilité spatio-temporelle et des mesures précises peuvent représenter un coût important (Smith, 2004). Le développement et la généralisation des technologies de spectroscopie du proche et moyen infrarouge pourraient diminuer fortement ces coûts à l'avenir (Bellon-Maurel & McBratney, 2011).

¹ *Project Design Document* ou PDD, nom anglais du Document Descriptif de Projet

² *Agriculture, Forestry and Other Land Use*, terme anglais regroupant les secteurs de l'agriculture, la foresterie et les autres usages des terres

Malgré ces enjeux, il existerait bien une fenêtre d'opportunité pour permettre le développement rural, sans mettre en péril la sécurité alimentaire et ayant un impact positif sur la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre (Achten & al., 2009). Pour que ces trois piliers soient présents, les conditions à respecter sont nombreuses et le besoin de financement important, aussi bien à l'investissement, pour la formation et l'accompagnement des fermiers que pour le soutien au prix d'achat de la graine. La finance carbone pourrait apporter cet investissement initial et ce fond de roulement, tout en garantissant l'impact positif du projet en terme de concentration atmosphérique en gaz à effet de serre (Degail & Chantry, 2012, Hofmann & al., 2012).

Les plantations de jatropha peuvent être éligibles au MDP ainsi qu'à des standards volontaires comme le Verified Carbon Standard (VCS) (voir Annexe 2 : les standards volontaires). Un projet carbone agricole intégrant de nombreux fermiers sur de grandes distances est confronté à des contraintes importantes liées à la forte variabilité des pratiques ainsi que des conditions pédoclimatiques. L'effort d'échantillonnage dans le cas de mesures directes du taux de carbone organique des sols peut donc devenir trop coûteux pour que le projet soit rentable économiquement (Traore & al., 2008). Dans ce contexte, la méthodologie « *Adoption of Sustainable Agricultural Land Management* »³, approuvée en décembre 2011 par le standard volontaire Verified Carbon Standard, représente donc une avancée dans les méthodologies de finance carbone comme l'affirme Pete Smith, auteur principal du rapport d'atténuation du GIEC sur l'agriculture (World Bank, 2012). Il s'agit de la première méthodologie créée pour valoriser la mise en place de pratiques agricoles durables. Développée pour le Biocarbon fund de la Banque Mondiale, son but premier est d'encourager les agriculteurs à adopter de bonnes pratiques agricoles. Elaborée à partir d'un projet pilote incluant plus de 60 000 paysans au Kenya, elle a été créée spécifiquement pour les communautés rurales d'Afrique. Elle prend en compte le carbone contenu dans la biomasse aérienne et racinaire, le carbone des sols ainsi que les émissions liées à l'utilisation de fertilisants, d'espèces fixatrices d'azote, la combustion de biomasse et d'énergie fossile au sein de l'exploitation. Sa particularité est de modéliser le carbone des sols grâce au modèle RothC⁴ (après avoir prouvé son applicabilité pour la zone agro-écologique) au lieu de le mesurer, ce qui limite fortement l'effort de suivi et de mesures de terrain.

Le modèle RothC (voir

³ Lien pour plus d'informations : <http://v-c-s.org/methodologies/VM0017>

⁴ Lien pour plus d'informations: <http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/aen/carbon/rothc.htm>

Annexe 3 : le modèle RothC) a été à l'origine conçu pour modéliser les dynamiques du carbone organique des sols des expériences de Rothamsted en Angleterre (Coleman & Jenkinson, 1999 (2008)). Malgré sa relative simplicité, le modèle RothC ferait partie des modèles les plus performants en région tempérée (Smith & al., 1997). En climat tropical, le bilan semble plus contrasté avec des performances variables selon les expériences. Certaines études montrent une bonne performance (Cerri & al., 2007, Kamoni & al., 2007, Kaonga & Coleman, 2008, Nakamura & al., 2011, Traore & al., 2008, Wu & al., 1998). Pour d'autres, le modèle RothC tend à surestimer la séquestration de carbone. Les explications proposées sont l'action de la macrofaune (Diels & al., 2004, Shirato & al., 2005), l'érosion (Nieto & al., 2010), une accélération de la décomposition par « priming effect » ou la faible protection apportée par les argiles de faible activité par rapport à Rothamsted (Diels & al., 2004).

Récemment une nouvelle méthodologie de gestion durable des terres agricoles a été approuvée par VCS. La méthodologie « *Soil Carbon Quantification Methodology* »⁵ mesure la variation du stock de carbone au lieu de la modéliser. L'effort d'échantillonnage y est donc plus important et peut fortement réduire la faisabilité économique d'un projet carbone à destination des communautés rurales d'Afrique (communication personnelle avec les développeurs de la méthodologie). D'autres méthodologies encore en développement utilisent des modèles comme Century. Ce dernier est un modèle sol-plante également très répandu. Plus complet que RothC, il pourrait être plus performant avec un apport en matière organique important même si les facteurs de surestimation listés dans le paragraphe précédent ne sont toujours pas pris en compte (Kamoni & al., 2007).

Compte tenu du potentiel d'enrichissement de sols dégradés par le jatropha (Achten & al., 2009), la méthodologie SALM apparaît intéressante pour des plantations paysannes de jatropha. Tout d'abord les conditions d'éligibilité en termes de couvert boisé y sont sensiblement plus simples que pour les méthodologies de boisement/reboisement. Plusieurs travaux ont d'ores et déjà montré un potentiel de séquestration de carbone dans les sols du Burkina Faso par les plantations de jatropha (Baumert, 2012b, Soulama, 2008). La modélisation du carbone des sols par l'utilisation du modèle RothC et de questionnaires de suivi pouvant être remplis par des fermiers animateurs, pourrait permettre de calculer à bas coût le carbone séquestré par les plantations de jatropha. Contrairement aux méthodologies de boisement/reboisement, la méthodologie SALM permet de valoriser la séquestration de carbone par l'application de tourteaux de jatropha comme engrais organique dont la valorisation est nécessaire compte tenu de la faible rentabilité des filières (Eijck & al., 2010). Enfin le lien fort, bien que non systématique, entre séquestration de carbone dans les sols et fertilité des terres (Lal, 2010) pourrait permettre de mieux valoriser les crédits carbone auprès d'entreprises engagées dans une démarche de responsabilité sociale.

⁵ Lien pour plus d'informations : <http://v-c-s.org/methodologies/VM0021>

1. Méthodologie

1.1. La zone d'étude

1.1.1. Les projets étudiés

L'étude s'effectue de manière transversale pour un groupe de projets présentant un potentiel de séquestration suffisant (considéré comme supérieur à 300 ha), ayant un système de suivi qui permet une localisation GPS des plantations et pouvant constituer un groupement viable économiquement. Le groupement est constitué d'ALTERRE Bénin, ALTERRE Mali, Aprojer et Genèse.

L'entreprise Genèse a été sélectionnée au sein de ce groupe pour une étude de cas approfondie, incluant cinq jours de visites terrain, de plus, six plantations du projet ALTERRE Bénin ont été visitées à la suite d'une formation à la finance carbone réalisée en novembre 2012.

Pour les mesures terrain, un échantillonnage est effectué à partir des données disponibles dans la base de données de Genèse. Au total des mesures ont été effectuées sur 21 exploitations ; 16 au Burkina Faso (14 dans la zone d'action de Genèse, deux à Mogtêdo) et cinq au Bénin.

1.1.2. Les plantations de jatropha

Dans le cadre de la présente étude, la zone de comptabilisation des réductions d'émission et du carbone séquestré est la plantation de jatropha. Cette zone répond à la définition la zone de projet telle que définie par le standard VCS. Le schéma ci-dessous représente de façon simplifiée les transferts de matière organique au sein d'une exploitation agricole d'Afrique de l'Ouest.

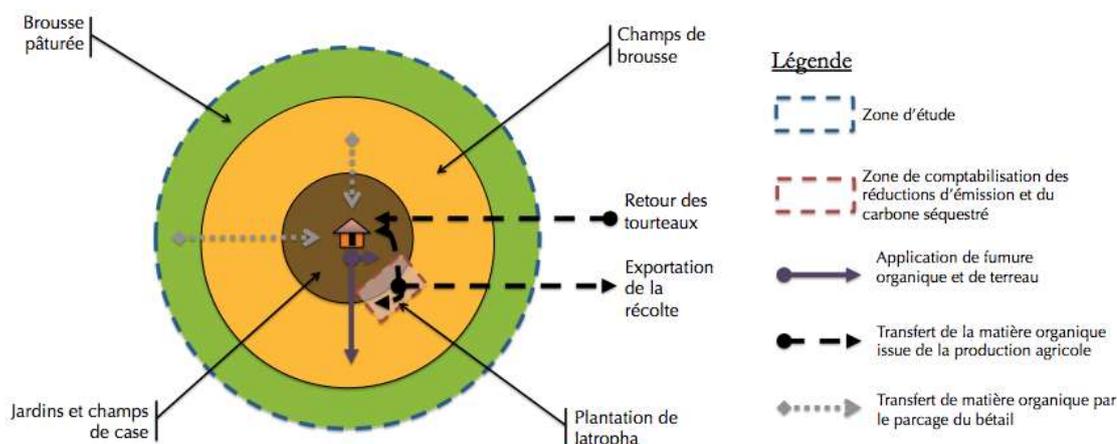


Figure 1: représentation simplifiée des transferts de matière organique au sein d'une exploitation type d'Afrique de l'Ouest

De même, il sera considéré que l'ensemble des coques de graines ainsi que l'éventuel retour des tourteaux reviennent sur la parcelle où est planté le jatropha. Cette considération est permise par la linéarité de modèle RothC vis-à-vis de l'apport en matière organique (Stewart & al., 2007) dans la mesure où les sols sont similaires et dégradés.

1.2. Acquisition des données

Pour estimer le potentiel économique de la méthodologie SALM, il convient tout d'abord de récolter les données nécessaires pour l'étude de l'éligibilité à la méthodologie. Ensuite, la comptabilisation de la séquestration de carbone et des réductions d'émissions de GES passe par la récolte de données bibliographiques et terrain. Enfin, l'ensemble des éléments de coûts ainsi que les revenus pouvant être issus de la vente de crédits carbone doivent être estimés pour en déduire un potentiel financier.

L'ensemble des données à l'échelle de la parcelle est récolté par entretien, inventaire forestier ainsi que par les moyens indirects tels que l'analyse de données satellites et des bases de données des types de sols.

1.2.1. L'éligibilité à la méthodologie SALM

Les conditions d'éligibilité pour la méthodologie SALM sont disponibles en Annexe 6 : les conditions d'éligibilité.

L'éligibilité de la zone par rapport au couvert boisé et à la dégradation des terres est montrée respectivement à partir des données MODIS LandSat (Townshend & al., 2012) et GLASOD. Des études terrains viennent compléter ces données par inventaire des arbres présents sur la parcelle ainsi que par analyse d'images satellites Google Earth® sur ImageJ pour l'estimation du taux de couverture boisée, et par entretiens avec les fermiers pour l'évaluation de la dégradation des terres.

Les dynamiques régionales de déforestation et d'augmentation des superficies agricoles sont estimées à partir des données FAO Stat ainsi que des entretiens avec les fermiers sur les pratiques de collecte du bois de cuisson.

Les données nécessaires pour la validation du modèle RothC sont obtenues à partir d'une revue des publications scientifiques pour la région climatique. Cette étude est complétée par une validation plus large des modélisations du scénario de référence et du projet par des prélèvements de sols sur le terrain.

1.2.2. La comptabilisation du carbone séquestré et des réductions d'émissions

a. Séquestration de carbone dans la biomasse

Données bibliographiques

L'estimation de la séquestration de carbone dans la biomasse doit se faire en utilisant l'outil de la méthodologie AR-AMS0007 « *Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities* » (UNFCCC, 2012a), remplaçant la méthodologie AR-AMS0001. Les dernières méthodologies élaborées pour le MDP imposent l'utilisation d'une équation allométrique spécifique à l'espèce ou groupe d'espèce, élaborée dans des conditions édapho-climatiques similaires (UNFCCC, 2011).

Une étude de la littérature ainsi que des enquêtes auprès des acteurs a permis de dresser la liste suivante des équations allométriques pour le jatropha. Leurs comportements sont présentés dans le graphique suivant.

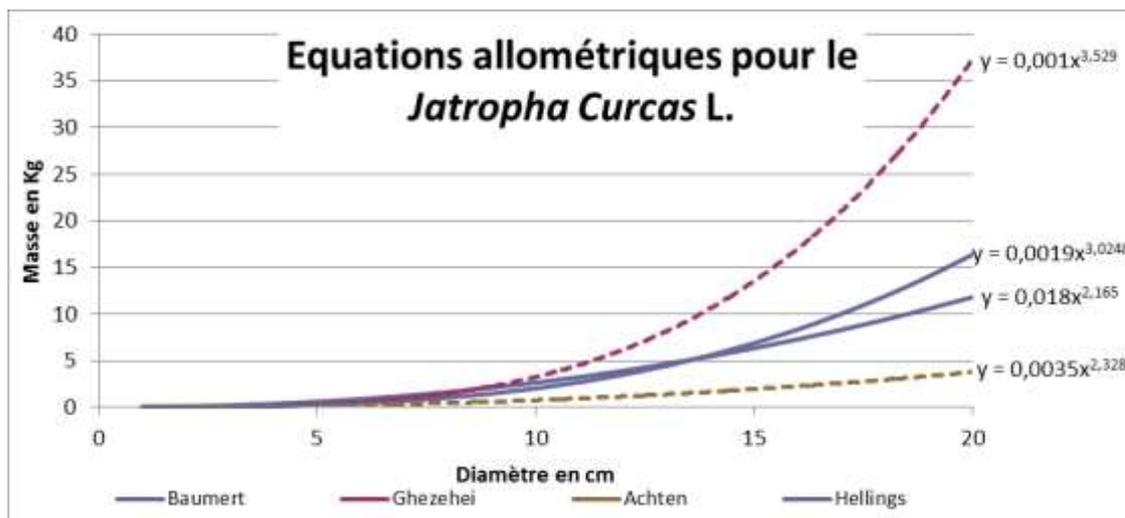


Figure 2 : équations allométriques pour le *Jatropha Curcas L.*

En trait continu : domaine de validité de l'équation ; en pointillé : extrapolation en dehors du domaine de validité.

Equations: Baumert (thèse non publiée) (2012a) : élaborée au Burkina Faso à partir de 141 plants allant de quelques semaines à 20 ans ; Ghezehei (2010) : élaborée en Afrique du Sud à partir de plants de 16 à 26 mois avec un écart de 2,5 à 3m sous climat sub-humide ; Achten (2010) : élaborée en serre à partir de plants de 116 jours provenant de graines d'Ethiopie, d'Inde et de Thaïlande ; Hellings (2012) : élaborée à partir de plants de 2,5 à 25 ans provenant de différentes zones avec différentes pratiques agricoles de Tanzanie.

L'équation allométrique

Elle est déterminée par régression à partir de mesures terrain des diamètres et masse sèche des plants de jatropha. Plus une équation sera élaborée à partir de plants nombreux, représentatifs des différentes classes de d'âges et de milieux, plus elle sera valide.

Selon Ghezehei (2010) la densité de la plantation n'a pas d'effet sur l'allométrie. Il s'avère cependant que l'équation développée par l'auteur est basée sur des jeunes plants (jusqu'à 26 mois) avec un écartement important, les effets de compétition peuvent ne pas encore avoir eu d'influence sur l'équation. Les effets de la densité sur l'équation allométrique devraient être très marqués sur les plantations en haies où les plants sont très rapprochés (souvent moins d'un mètre d'écartement). Il est préféré pour cette étude une équation développée à partir de plants provenant à la fois de haies vives et de plants en culture associée.

Elaborée à partir de plants couvrant le territoire Burkinabé ainsi que l'ensemble des zones agro-écologiques du projet JatroREF, l'équation développée par Baumert (2011) est également valide pour une large gamme de diamètres ce qui la rend applicable pour l'étude (UNFCCC, 2011). Cette équation a été constituée à partir de plants provenant de haies vives et de cultures associées, cette mixité devrait permettre une plus large application de l'équation aux plantations paysannes des projets du réseau JatroREF.

Malgré le fait que l'équation de Ghezehei (2010) soit utilisée sur le standard VCS elle n'est pas retenue pour cette étude, car non éligible selon la méthodologie. Elle ne compte en effet que 12 plants et ne représente pas la gamme de diamètres pouvant être observée dans une plantation de jatropha. L'équation de Hellings (2012) ne comptant que 15 plants et ayant été développée sous un climat différent n'est pas intégrée dans l'étude pour les mêmes problèmes d'éligibilité. L'équations de Baumert (2011) et une équation développée au Mali ne pouvant être diffusée ici sont donc les seules retenues pour cette étude.

La biomasse racinaire est estimée à partir des ratios issus des mesures de Baumert (2011) qui estime que la biomasse racinaire est égale à 50 % de la biomasse aérienne pour des jeunes plants (< 7 ans). Cette valeur correspond aux résultats trouvés par Achten (2010). Pour les plants matures, Baumert estime la biomasse racinaire égale à 34 % de la biomasse aérienne. Ce ratio est amené à diminuer avec l'âge de la plante, mais cela

peut être aussi dû à une augmentation des erreurs de mesures (Baumert, 2012a), un ratio fixe de 50 % sera donc utilisé.

Données terrain

Sur chaque placette la superficie totale est mesurée à l'aide d'un mètre ruban. Par la suite une placette de 20 m X 20 m est placée aléatoirement dans l'axe des rangées de jatropha. Pour les plantations en haies, des transects de 10 m sont effectués. A l'intérieur des placettes ou le long des transects, les diamètres au collet de tous les jatropha sont mesurés à l'aide d'un ruban forestier.

b. Séquestration du carbone dans les sols

Données bibliographiques

L'estimation du stock de carbone des sols selon la méthodologie SALM est faite à l'aide du modèle RothC. A la différence d'autres modèles, RothC ne simule pas la croissance des cultures pour modéliser les dynamiques de séquestration de carbone dans le sols (Kamoni & al., 2007), c'est à l'utilisateur d'indiquer l'apport en carbone organique au sol. La méthodologie SALM reste très large sur la manière d'estimer l'apport en matière organique au sol. Seule l'utilisation de ratios résidus/produits récoltés issus des Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre est proposée (IPCC, 2006). Ces valeurs sont un ratio entre les résidus de culture et la production du produit agricole. Elles ont été majoritairement établies à partir de travaux de recherche nord-américains. L'auteur de l'étude recommande d'utiliser des données locales dès que possible (Williams, 2012). D'après Kossila (1988), l'Afrique serait le continent avec le plus haut taux de résidus par rapport aux produits récoltés. Malgré un potentiel d'enrichissement des sols (Bazongo, 2011), l'introduction du jatropha dans l'exploitation agricole devrait diminuer ou à minima stabiliser la production de résidus des cultures précédentes en réduisant l'espace disponible. Utiliser les ratios résidus/produits récoltés les plus élevés constitue donc une mesure conservatrice. De plus les équations affines proposées par le GIEC ont un domaine de validité implicite qui ne permet pas de les utiliser telles quelles dans le cas de cultures associées à faible production à l'hectare et il n'existe pas d'équations spécifiques à l'arachide, une culture fréquemment associée au jatropha. Pour toutes ces raisons le développement d'équations adaptées à la région et permettant une modélisation de la production de résidus à partir d'une faible production à l'hectare est nécessaire.

Le graphique suivant présente la production de résidus estimée à partir de la masse de produits récoltés. Les ratios ont été élaborés à partir d'une revue de la littérature disponible pour les zones agro-écologiques concernées par l'étude. Les ratios moyens couvrent une large gamme d'itinéraires techniques. Ils s'avèrent très proches de ceux développés par Williams (IPCC, 2006) pour le niébé et le maïs. Pour les cultures à forte production de résidus que sont le Millet et le Sorgho les résultats diffèrent fortement. Il convient tout d'abord de noter que l'ordonnée à l'origine de l'équation du Millet développée par Williams possède une forte marge d'erreur (IPCC, 2006), ce qui peut expliquer une partie de l'écart observé. Cet écart correspond cependant à ce que l'on peut trouver dans la littérature. Dans une analyse de différents travaux Yevich et Logan (2002) indiquent des ratios résidus/produits récoltés allant de 1,5 à 4,6 pour le Millet et le Sorgho. Ces résultats sont cohérents avec les écarts que nous observons entre les ratios développés dans cette étude et ceux proposés par Williams et montrent l'importance du développement de ratios adaptés pour des projets carbone agricoles. Ces ratios sont disponibles en

Annexe 7 : les ratios résidus/produits récoltés.

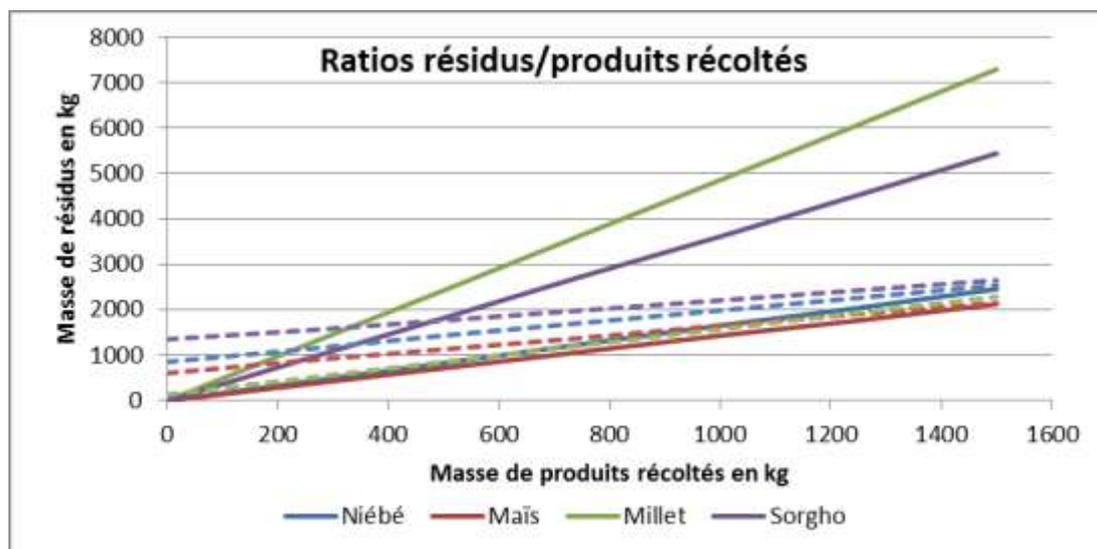


Figure 3: ratios résidus/produits récoltés

En pointillés : données de Williams pour le GIEC ; en traits continus : ratios développés pour l'étude

Les ratios résidus/produits récoltés

Pour estimer l'apport en matière organique provenant de la gestion des résidus de culture, on utilise un ratio entre la production agricole (pouvant être estimée facilement) et les résidus non valorisés pouvant retourner au sol. Ces ratios sont établis à partir de mesures terrain et varient fortement selon les systèmes agricoles. Plus ces ratios seront élaborés à partir de mesures représentatifs du système agricole, plus les ratios utilisés seront fiables.

Les sources de carbone organique provenant des plants de jatropha considérées sont la biomasse issue des feuilles, la biomasse des coques ainsi que les tourteaux issus du pressage des graines produites dans le champ concerné. La biomasse issue de la taille n'est pas considérée. La taille n'étant effectuée qu'au début de la croissance avec des apports en carbone organique de l'ordre de 10 % du carbone organique annuel arrivant au sol dans une plantation de jatropha de cinq ans (Wani & al., 2012), les bénéfices pouvant être issus du suivi des résidus de taille apparaissent négligeables par rapport aux efforts requis. La biomasse issue des feuilles est non négligeable avec une production annuelle représentant 55 % de l'apport annuel en carbone organique au sol selon Wani *et al* (2012). D'après Baumert (2012a) l'apport annuel en biomasse provenant de la production foliaire correspond à 20% de la biomasse aérienne pour un plant jeune (< 7 ans) puis 38 % arrivé à maturité. Les plantations pouvant contenir une large gamme d'âges, il sera considéré une production foliaire de 20 % de la biomasse aérienne, ce qui correspond à une valeur conservatrice. La masse de coques ainsi que la masse de tourteaux issus du pressage sont estimés à partir des ratios massiques coques/graines et tourteaux/graines de manière à pouvoir extrapoler la quantité pouvant être appliquée sur le champ à partir de la quantité de graines vendue. Le fait de considérer uniquement la masse vendue constitue également une mesure conservatrice. Le taux de collecte des graines est faible, estimé à 60 % compte tenu d'une concurrence avec la production domestique de savon et d'un prix d'achat faible. Une tonne de graines donne environ 2,4 tonnes de coques (Sharma & Pandey, 2009) avec un taux de matière sèche de 16,81 % et 49,70 % de carbone (voir

Annexe 8 : les résultats d'analyses de tourteaux et coques). Un facteur de 0,2 sera donc appliqué à la production de graines pour obtenir l'apport en carbone issu des coques. Il est considéré que après présage, les graines donnent 75 % de leur masse initiale en tourteaux, ce qui correspond à une contenance de 34,4% en huile (Achten, 2010) et un taux d'extraction moyen de 71,25%. Les analyses montrent pour les tourteaux un taux de matière sèche de 95,73 % et 53 % de carbone (voir

Annexe 8 : les résultats d'analyses de tourteaux et coques de *Jatropha*). Les tourteaux étant le plus souvent revendus comme engrais organique, seuls les tourteaux ayant pu être produits à partir de la masse de graines vendue et qui sont réellement appliqués seront comptabilisés pour le calcul du carbone des sols. Il s'agit là de comptabiliser l'augmentation du stock de carbone du sol issu de la récupération de la matière organique de l'exploitation et non d'effectuer un transfert de matière organique comme exigé par la méthodologie SALM.

Le modèle RothC comme tous les modèles basés sur les processus de décomposition traite la décomposition de matière organique selon plusieurs compartiments. La matière organique entrante est traitée différemment selon sa résistance à la décomposition, désignée par le rapport DPM :RPM⁶. Les résidus des cultures agricoles sont modélisés avec un ratio DPM :RPM de 0,59/0,41 soit 1,44 ce qui correspond aux valeurs par défaut du modèle RothC. La qualité des résidus de *jatropha* est-elle, estimée par analogie avec d'autres types de matériel végétal. Si l'hydrolyse acide du matériel paraît être la solution la plus pertinente pour estimer le ratio DPM :RPM (Shirato & Yokozawa, 2006), il sera préféré une comparaison avec du matériel végétal pour lequel ces ratios ont déjà été estimés. Plusieurs publications, montrent en effet, que l'impact de ce ratio est négligeable par rapport à l'apport de matière organique qui reste le facteur essentiel. Cela s'est vérifié sous des climats divers, comme au Niger (Nakamura & al., 2011), au Burkina Faso (Traore & al., 2008) ou même en Thaïlande (Shirato & al., 2005). D'après Roviraa et Vallejo (2002), les principaux indicateurs utilisés pour qualifier la résistance d'un matériel végétal à la décomposition sont les ratios C/N et lignine/N. Le tableau ci-dessous montre ces valeurs pour les feuilles de *jatropha* (Abugre & al., 2011) et une comparaison avec d'autres genres (Roviraa & Vallejo, 2002)

Tableau 1: ratios C/N et lignine/N du *Jatropha* comparés à d'autres genres

| | <i>Jatropha</i> | <i>Medicago</i> | <i>Eucalyptus</i> | <i>Quercus</i> | <i>Pinus</i> |
|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------------|
| C/N | 16,7 | 12 | 28 | 23 | 44 |
| Lignine/N | 4,8 | 5,1 | 12,5 | 15,4 | 27,9 |

Les caractéristiques de décomposition de la litière de *jatropha* semblent plus s'apparenter à celles de la luzerne (*Medicago sativa*) espèce herbacée possédant un ratio DPM :RPM de 0,82, que celles des autres genres ligneux de ce tableau. Les coques de *jatropha* ont un rapport C/N de 68,98 et lignine/N de 16,58, elle se rapproche de valeurs de résidus de cultures céréalières comme le maïs (Johnson & al., 2007). Le *jatropha* étant le plus souvent cultivé en association avec des espèces agricoles, l'utilisation d'un ratio de 1,44 apparaît à la fois pertinent et conservateur. De plus d'après Shirato (2006), ce ratio de 1,44, élaboré à partir de données de différentes zones agro-écologiques peut être considéré comme robuste.

Selon Coleman et Jenkinson (1996), la distribution temporelle de la matière organique dans l'année fait peu de différence dans le résultat final. Il est considéré que l'apport en résidus de culture associée se produit de façon homogène entre le moment de récolte et de plantation l'année suivante. L'apport en litière de *jatropha* est appliqué lorsque le sol atteint son niveau maximal de déficit en humidité comme considéré dans le modèle RothC. Cette dernière hypothèse semble cohérente avec les travaux de Maes (2009). L'apport éventuel en coques et en tourteaux est lui lissé sur l'année.

Les ratios DPM/RPM

Selon la nature de la matière organique la décomposition pourra se faire de manière plus ou moins rapide. Selon les modèles de modélisation des dynamiques de carbone des sols les critères utilisés peuvent varier. Il convient donc d'estimer à partir de mesures en laboratoire ou de comparaison avec des données existantes la résistance à la décomposition de la matière organique revenant au sol.

Un autre facteur important est la couverture végétale. Le modèle RothC considère ce facteur à la fois pour le calcul de la constante de décomposition liée à l'humidité du sol et pour la constante de décomposition liée à la couverture végétale. Le *jatropha* étant une plante pérenne, elle peut être considérée comme apportant un couvert végétal permanent. Cependant le stress hydrique du passage en saison sèche provoque la perte des

⁶ DPM : Decomposable Plant Material ; RPM : Resistant Plant Material

feuilles de façon progressive (Maes & al., 2009) ce qui limite la transpiration et peut laisser penser que considérer une couverture végétale pendant la saison sèche peut donner lieu à des surestimations. Ces deux hypothèses sont donc testées dans l'étude.

Les données climatiques de température, pluviosité et de potentiel d'évaporation sont obtenues grâce au logiciel LocClim développé par la F.A.O. qui permet de coupler des données de stations météorologiques proches.

Le taux d'argile moyen de l'horizon dominant des 30 premiers centimètres est obtenue à partir des données fournies par l'Harmonized World Soil Database (IIASA, 2012) et comparées avec une estimation terrain par la technique dite « du boudin » (FAO).

Données terrain

Les données concernant les pratiques agricoles sont récoltées par entretien avec le fermier, les données concernant la plantation de jatropha sont récoltées par inventaire comme décrit dans le chapitre précédent.

De plus des prélèvements de sols ont été effectués sur sept plantations de jatropha, notamment sur les plantations les plus anciennes pouvant avoir atteint un état d'équilibre (Batjes, 2001) pour estimer la validité des modélisations effectuées. Ces prélèvements couvrent les deux zones climatiques majeures (tropicale humide et tropicale sèche) des projets du réseau JatroREF. Les mêmes prélèvements ont été effectués sur sept parcelles témoin sans présence du jatropha. Les échantillons sont ensuite envoyés au laboratoire Sol-Eau-Plante de l'INERA à Farako-Ba pour mesure de la densité apparente, de la granulométrie et du carbone organique total. Le carbone organique total est dosé grâce à la méthode Walkley-Black. Malgré son imprécision (Dabin, 1970), cette méthode est encore très répandue et reste la seule disponible à l'INERA de Farako-Ba.

c. Les émissions de gaz à effet de serre issus des pratiques agricoles

Compte tenu de l'impact négligeable du jatropha sur le bétail, seules les émissions de CH₄ et N₂O liées à l'augmentation des cultures de légumineuses, la combustion de résidus de culture et l'application de fertilisants sont considérées. Les plateformes multifonctionnelles pouvant difficilement rentrer dans la catégorie « équipement agricole » les émissions liées à la valorisation de l'huile de jatropha comme carburant ne sont pas considérées.

1.2.3. Faisabilité économique d'un projet SALM

Les données nécessaires sont récoltées à la fois sur le terrain, par interview, et à partir de différentes publications des pôles d'expertises du projet JatroREF.

Les parcelles éligibles sont déterminées par extrapolation des données recueillies lors des visites de terrain au Bénin et au Burkina Faso. Les données nécessaires pour les modèles de croissance et de production sont tirées des modèles de production élaborés par les équipes du GERES pour les projets Alterre Bénin et Mali, pour l'entreprise Genèse les données sont tirées des bases de données existantes ainsi que des observations terrain. Les données fournies par le projet Aprojer n'étant pas suffisantes pour la simulation, les données sont extrapolées à partir du nombre de parcelles en culture associée et en haies en se basant sur les résultats de Genèse. Ces surfaces sont converties en équivalent hectare à partir du nombre de pieds, soit 400 pieds par hectare pour les haies et 1 000 pieds par hectare pour les plantations en culture associée.

Une estimation totale des coûts liés à un projet de type SALM est compliquée à mettre en œuvre. En effet, certaines opérations de suivi sont effectuées avec ou sans la finance carbone (Shames & al., 2012a). Les coûts liés au projet de finance carbone sont donc estimés en considérant le coût horaire des différents intervenants (experts carbone, manager du projet, équipe technique du projet, Entité Opérationnelle Désignée (EOD), expert informatique). Les frais liés à la validation et la vérification sont tirés d'un devis demandé à une EOD accréditée par VCS. Les coûts sont disponibles en Annexe 9 : les coûts de la mise en œuvre d'un projet SALM.

Les revenus sont issus de l'analyse du potentiel de réduction d'émissions et séquestration de carbone, duquel est déduit un pourcentage allant au « buffer » de VCS à la suite d'une analyse de risques. La période de génération des crédits est fixée à 20 ans. Un prix du crédit 12 € est utilisé supposant une bonne valorisation des crédits. Un taux d'actualisation de 9 % correspondant au taux d'intérêt des banques commerciales Maliennes est finalement utilisé pour le calcul du bénéfice actualisé net (CIA, 2012).

1.3. Analyse des données

1.3.1. Eligibilité de la méthodologie SALM

L'analyse de la validité du modèle RothC est effectuée par une revue de la littérature. Une analyse supplémentaire est effectuée pour étudier la crédibilité du système de modélisation dans son ensemble, incluant l'ensemble des paramètres de traitement des données d'entrée mais aussi l'incertitude quant au système d'obtention de ces données en partie basé sur les dires des fermiers. Pour cette analyse, les quantités de carbone séquestrées modélisées entre la situation actuelle et la situation avant jatropha sont comparés aux résultats des analyses de sols en considérant la différence entre le stock de carbone organique des sols sous la plantation de jatropha et sous un champ témoin ayant subi le même traitement que le champ avant plantation du jatropha.

La qualité de prédiction du modèle avec les différents jeux de paramètres est analysée grâce au coefficient de corrélation (R) ; au coefficient de détermination (R^2) et à la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (REQM) sur IBM SPSS Statistics[®].

1.3.2. La comptabilisation du carbone séquestré et des réductions d'émissions

Le potentiel de réduction d'émissions de GES et de séquestration de carbone est estimé grâce à deux fichiers Excel[®]. Le premier permet de calculer les réductions d'émissions et le carbone séquestré à partir des données recueillies sur les parcelles visitées. Le deuxième sert à estimer le potentiel en crédits carbone sur plusieurs années en simulant la croissance des plantations en fonction du taux de survie, de regarnissage et de replantation ainsi que des taux de collecte des graines, de retour des tourteaux et de la production des cultures associées.

Une version de RothC optimisée pour la zone agroécologique nord guinéenne est utilisée pour cette étude. Selon Traoré (2008), celle-ci permettrait de réduire la REQM de 0,16tC/ha sur la base des expériences de Farako-Bâ, proche de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso.

Plusieurs jeux de paramètres du modèle RothC sont testés :

Tableau 2: les jeux de paramètres utilisés dans le cadre de l'étude

| Nom | Constantes de décomposition | Ratio DPM :RPM | Couverture végétale du jatropha | Equation allométrique |
|-----|------------------------------------|----------------|---------------------------------|-----------------------|
| P1 | Centre de Farako-Bâ (Burkina Faso) | 1,44 | 8 mois par an (avril-nov.) | Baumert |
| P2 | Centre de Farako-Bâ (Burkina Faso) | 1,44 | Toute l'année | Baumert |
| P3 | Centre de Rothamsted (Royaume-Uni) | 0,27 | Toute l'année | Baumert |
| P4 | Centre de Farako-Bâ (Burkina Faso) | 1,44 | 8 mois par an (avril-nov.) | Mali ⁷ |
| P5 | Centre de Farako-Bâ (Burkina Faso) | 1,44 | Toute l'année | Mali |
| P6 | Centre de Rothamsted (Royaume-Uni) | 0,27 | Toute l'année | Mali |

⁷ Pour des raisons de confidentialité, cette équation ne peut être diffusée, elle se situe cependant entre les équations de Hellings et Ghezehei

Les configurations P₁ et P₄ représentent les configurations les plus conservatrices ; les configurations P₂ et P₅ y intègrent une couverture végétale considérée comme annuelle ; les configurations P₃ et P₆ comprennent les paramètres donnant les résultats de séquestration de carbone dans les sols les plus élevés pouvant être admis par la méthodologie SALM.

1.3.3. Faisabilité économique d'un projet SALM

Le potentiel en crédits carbone est analysé à l'aide d'une série de fichiers, présentés plus bas, créés pour permettre l'évaluation des bénéfices potentiels selon les différents scénarios et configurations détaillées précédemment.

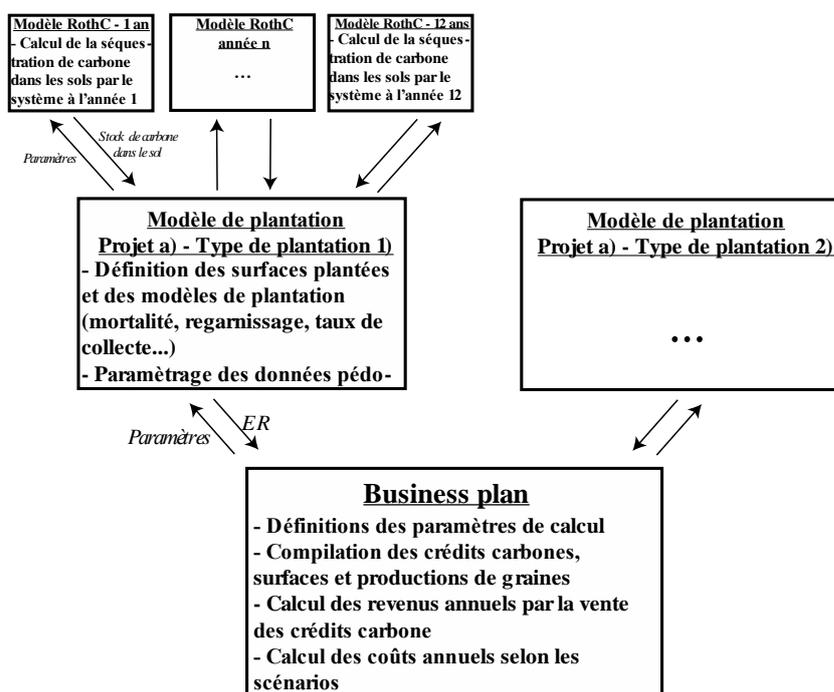


Figure 4: architecture du système d'analyse du potentiel en crédits carbone

Cette étude porte sur deux scénarios. Dans les deux cas, l'apport financier généré par la finance carbone sert à augmenter le suivi technique par l'embauche et le financement des actions d'un ingénieur et de 10 agents techniques pendant les 20 années de la période d'accréditation. Le dimensionnement du suivi est effectué en considérant la possibilité de visiter trois exploitations par jour pendant 300 jours par ans. Le nombre d'agents par membre du réseau est dimensionné en considérant l'entier supérieur compte tenu du nombre théorique de parcelles.

Pour le scénario 1) la finance carbone sert à financer le coût d'opportunité d'un retour gratuit de 60 % des tourteaux pendant les cinq premières années du projet correspondant à un coût de 35 FCFA/kg (intégrant 10 FCFA/kg de frais logistiques).

Pour le scénario 2) la finance carbone vient soutenir le prix d'achat des graines sans retour des tourteaux au sol à taux dégressif de 40 FCFA/kg (-10 %/an) pendant les cinq premières années du projet.

Ces deux scénarios supposent que les actions mises en œuvre rendront la culture du jatropha plus intéressante et entraîneront une replantation de 60 % des plants morts pendant la période précédant la vente des crédits carbone.

Il est considéré que le stock de carbone organique des sols arrive à l'équilibre 20 ans après la plantation du jatropha comme proposé par la méthodologie SALM.

Les dates de vérification sont établies de façon à minimiser la trésorerie nécessaire tout au long de la période d'accréditation.

L'intérêt financier de la méthodologie de finance carbone SALM est estimé à partir du bénéfice actualisé net.

Les enjeux liés à la gouvernance d'un projet programmatique regroupant plusieurs membres du réseau sont eux analysés selon le Cadre d'Analyse de la Gouvernance de Hufty (2007).

2. Résultats

2.1. L'éligibilité des projets à la finance carbone

Une analyse à l'échelle régionale montre que les parcelles du projet Genèse au Burkina Faso pour lesquelles des données GPS sont disponibles ont une couverture boisée moyenne de 2,76 %, pouvant donc être éligibles (voir Annexe 11 : analyse du couvert boisé dans les zones d'interventions 1, 5, 6 et 13 de Genèse). Parmi les parcelles visités dans la zone d'action de Genèse, seule une plantation, en haie, ne fut pas éligible au titre de la couverture boisée (voir Annexe 12 : éligibilité des plantations vis à vis de la couverture boisée). Les cinq parcelles visitées au sein d'Alterre Bénin étaient toutes éligibles selon le critère de couvert boisé.

Une autre condition exige que le projet se situe sur des terres dégradées. Cette condition est remplie pour l'ensemble des projets du réseau, avec cependant une forte variabilité dans la gravité de la dégradation, voir Annexe 13 : dégradation des terres, pour plus d'informations.

En plus des facteurs listés précédemment, la date de plantation de certaines haies pose également problème, l'additionnalité de la finance carbone ne pouvant être prouvée sur 29 % (2/7) des haies. L'étude à l'échelle des projets du réseau est disponible en Annexe 14 : l'additionnalité de la finance carbone pour les projets du réseau.

Tous ces facteurs pris en compte, 43 % des haies échantillonnées (3/7) sont inéligibles à la finance carbone. Le projet ALTERRE Bénin ne comportant pas de plantation en haies, seules les plantations en haie de Genèse rentrent en compte dans ce calcul. Il est considéré de manière conservatrice par rapport aux données disponibles pour le Burkina Faso et le Bénin que 15 % des plantations en culture associée ne sont pas éligibles. Dans le cas du projet ALTERRE Mali 71% des haies sont considérées comme éligibles ; comme observé sur le projet Genèse sur le critère d'additionnalité des plantations ainsi que 85% des cultures associées comme observé au Bénin et au Burkina Faso.

Pour être éligible à la méthodologie SALM, la zone du projet doit présenter des caractéristiques de diminution des surfaces forestières et d'augmentation des surfaces agricoles. Les données proposées par la F.A.O. (2012) montrent que l'ensemble des pays de la zone présentent cette caractéristique (voir Annexe 15 : l'évolution des superficies agricoles et forestières). Au niveau plus local, pour les zones d'action d'ALTERRE Bénin et de Genèse, l'intégralité des 12 paysans utilisant du bois pour cuisiner affirment mettre plus de temps qu'avant pour aller chercher le bois et que le prix de la biomasse (bois, charbon) est en augmentation. Ces deux informations permettent d'affirmer que la ressource en bois est non-renouvelable en l'absence de plans de gestion dans la zone (UNFCCC, 2012b).

Il existe de nombreuses expériences validant le modèle RothC à travers l'ensemble des zones agroécologiques concernées par le réseau (Bostick & al., 2007, Diels & al., 2002, Farage & al., 2007, Nakamura & al., 2011). Le cas d'Ibadan (Nigéria) correspondant au triangle jaune sur la carte suivante montre que l'incertitude reste importante en milieu tropical, comme détaillé dans les chapitres précédents. Sur trois jeux de données étudiés par Diels (2002) deux se sont montrés significativement différents de la valeur mesurée. Les travaux de Traoré (2008) ont permis d'obtenir une version de RothC optimisée pour Farako-Ba située dans la région climatique tropicale humide à la frontière avec la région tropicale sèche. C'est le long de cette frontière que sont situés la majorité des projets du réseau. Les paramètres développés par Traoré ont également été validés pour la région climatique tropicale sèche à partir des résultats de Batjes (2001). Comme Diels (2004), Traoré a observé une surestimation des résultats de Ibadan mais elle y est plus faible, + 30-50 % sur k_{RPM} ⁸ contre +100 % pour retrouver la valeur mesurée (Traore & al., 2008).

⁸ k_{RPM} : constante de décomposition du compartiment « *Resistant Plant Material* »

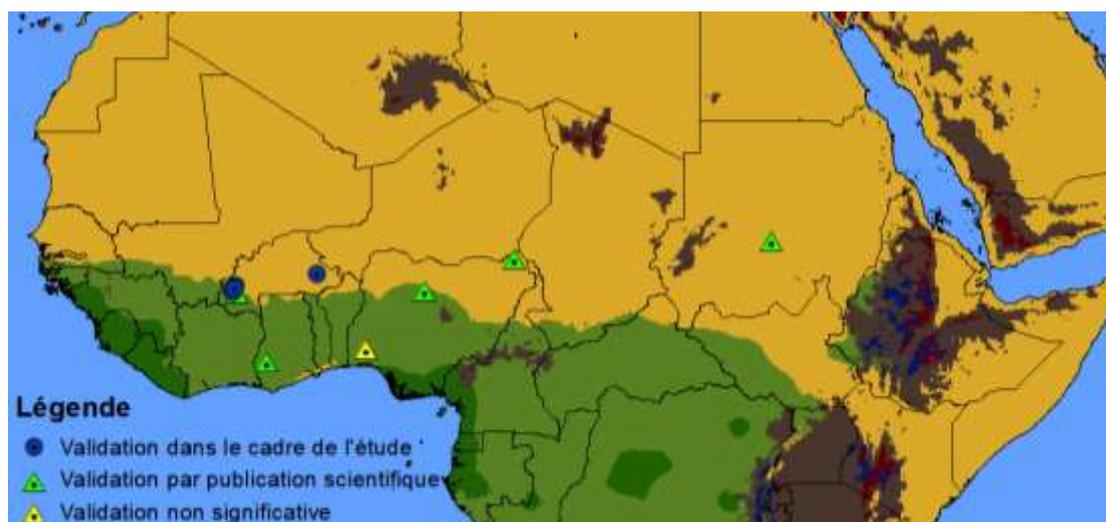


Figure 5 : validation du modèle RothC pour les différentes régions climatiques du GIEC

Les résultats des études menées sur le terrain montrent que les modélisations avec les paramètres P1 (équation allométrique de Baumert ; DPM :RPM de 1,44 et couverture végétale 8 mois par an) sont significativement corrélées avec les valeurs moyennes observées sur le terrain. Les modélisations effectuées avec les paramètres P1 ont expliqué 60% de la variance des valeurs observées. Le graphique ci-dessous présente la séquestration de carbone par les plantations de jatropha par rapport à la situation initiale selon les modélisations avec les paramètres P1 et la séquestration de carbone par les plantations par rapport à une parcelle témoin issue des analyses de sols. L'ensemble des résultats est disponible en Annexe 16 : étude de corrélation de la modélisation avec les prélèvements terrain.

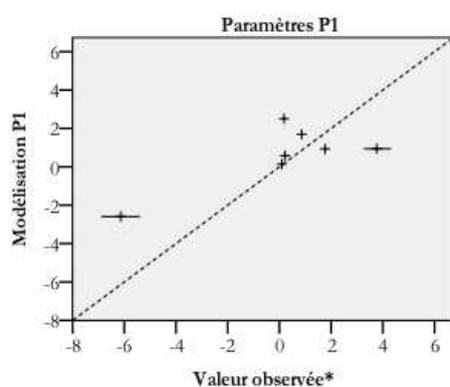


Figure 6 : corrélation des modélisations avec les paramètres P1 et les valeurs issues des analyses de sols (en tC/ha)

Tableau 3 : données statistiques de prédiction des résultats mesurés

| Paramètres | R | R ² | REQM |
|------------|-------|----------------|-------|
| P1 | 0,773 | 0,597 | 2,119 |
| P2 | 0,745 | 0,555 | 2,226 |
| P3 | 0,655 | 0,429 | 2,521 |
| P4 | 0,687 | 0,472 | 2,426 |
| P5 | 0,652 | 0,426 | 2,528 |
| P6 | 0,544 | 0,296 | 2,799 |

Nous pouvons conclure de cette étude que le modèle RothC utilisé avec les paramètres P1 et P2 est à même de simuler de façon crédible les dynamiques de carbone organique des sols suite à l'introduction du jatropha dans des systèmes agricoles d'Afrique de l'Ouest.

2.2. Potentiel de réduction d'émissions de GES et de séquestration de carbone

2.2.1. Basé sur les observations terrains

Les simulations effectuées à partir des parcelles visitées au Bénin et au Burkina Faso montrent un potentiel de séquestration plus important sur les plantations en haies que sur les plantations en culture associée. Ces résultats sont cohérents avec les résultats préliminaires de Baumert (2011) qui avait identifié les haies comme ayant le plus grand potentiel de séquestration. Les plantations en haie semblent présenter une variabilité plus faible que plantation en culture associée.

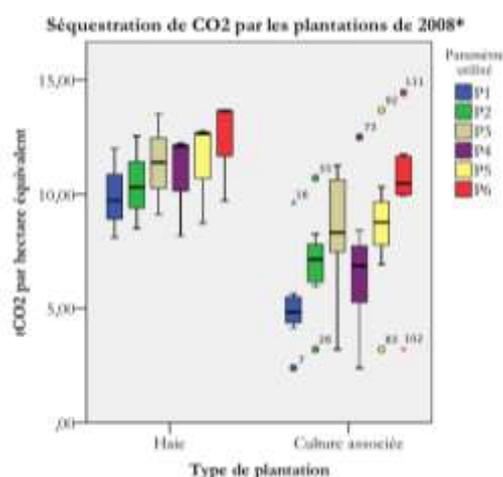


Tableau 4: potentiel de séquestration moyen en tCO₂/hectares équivalents (sols et biomasse) par les plantations de 2008 modélisées à l'équilibre

| Paramètres | Haie | Culture associée |
|------------|-------|------------------|
| P1 | 9,93 | 5,23 |
| P2 | 10,44 | 6,99 |
| P3 | 11,35 | 8,42 |
| P4 | 10,83 | 6,81 |
| P5 | 11,37 | 8,64 |
| P6 | 12,34 | 10,19 |

Figure 7: potentiel de séquestration en tCO₂ (sols et biomasse) par les plantations de 2008 modélisées à l'équilibre en hectares équivalent

Les paramètres les plus conservateurs (P1) montrent même une baisse du stock de carbone modélisé à l'équilibre par rapport au scénario de référence. Cette différence s'explique par le fait que pour les plantations en culture associée, le jatropha vient remplacer une culture agricole avec un apport en matière organique potentiellement important. Pour cette même raison, l'impact de la durée de couverture végétale et de la résistance à la décomposition de la matière organique y est plus important. Pour les faibles diamètres, les équations allométriques ont un comportement relativement similaire, l'équation utilisée dans les paramètres P4, P5, P6 donnant même des résultats inférieurs à celle de Baumert. Pour des plantations plus âgées la différence devient beaucoup plus marquée. Les données proposées par Soulama (2008) transformées en tCO₂/hectare équivalent pour comparaison, indiquent un potentiel de séquestration de carbone dans les sols de 10,19 tCO₂. Les résultats des modélisations P1 et P4 précédemment identifiées sont cohérents avec ces valeurs. Ils se détachent cependant fortement des résultats de Baumert (2012b) qui indiquent un potentiel plus faible de 5,5 tCO₂ (± 2 tCO₂). Le graphique suivant présente la séquestration de carbone dans les sols (en vert) et dans la biomasse (en bleu) pour les haies de plus de 20 ans.

2.2.2. Basé sur les modèles de plantations

Le potentiel de séquestration de gaz à effet de serre basé sur les modèles de plantations des projets ALTERRE Bénin & Mali, APROJER et GENESE montre le potentiel suivant.

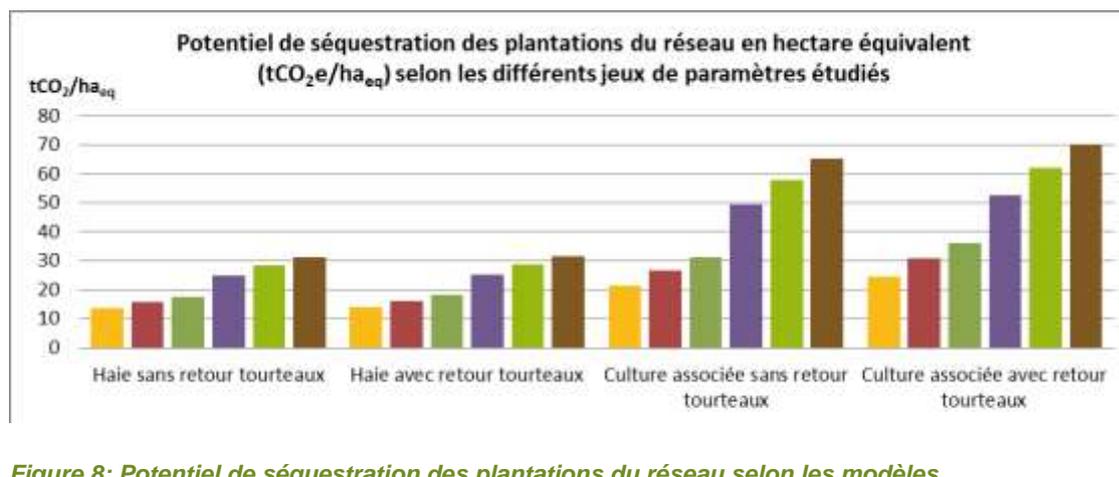


Figure 8: Potentiel de séquestration des plantations du réseau selon les modèles

Malgré l'intégration des taux de mortalité, d'abandon, de regarnissage et de récolte par année, ces potentiels restent très dépendants des réalités locales et restent dépendants d'une éventuelle évolution des modèles de plantations comme d'une éventuelle augmentation des taux d'abandons.

Pour obtenir un potentiel en crédits carbone disponibles, il est nécessaire d'effectuer au préalable une analyse de risques (voir chapitre suivant) qui permettra d'obtenir un taux de prélèvement de crédits qui viendront alimenter une caisse commune visant à assurer les acheteurs en cas si jamais les plantations venaient à disparaître et donc, relancer tout le CO₂ séquestré dans l'atmosphère.

2.3. Faisabilité économique d'un projet SALM

2.3.1. L'analyse des risques

Le taux de mortalité entraîne un taux de prélèvement au « buffer » extrêmement important d'après l'outil proposé par VCS. Si une partie de ce taux peut être expliquée par des mauvais choix techniques pour l'année 2008, année de commencement de la grande majorité des projets jatropha, les termites jouent un rôle prépondérant dans l'explication de la mortalité. A l'heure actuelle, aucune action significative ne semble être mise en œuvre pour diminuer ces attaques. Des mesures d'atténuation des risques liés aux termites sont essentielles pour parvenir à réduire le taux de prélèvement des crédits. L'intensification du suivi et de l'assistance technique devrait permettre de réduire le taux de mortalité et constitue une mesure d'atténuation des risques donnant un taux de prélèvement de 38% (voir Annexe 17 : l'analyse des risques).

2.3.2. Le potentiel en crédit carbone

Bilan financier – modèle économique de retour des tourteaux

Pour un prix de vente de 12€, les paramètres P4, P5, et P6 ont permis de dégager des bénéfices après avoir couvert l'ensemble des coûts, notamment des incitations financières. Le scénario P6 a même permis de dégager un bénéfice actualisé net de 253 701 €.

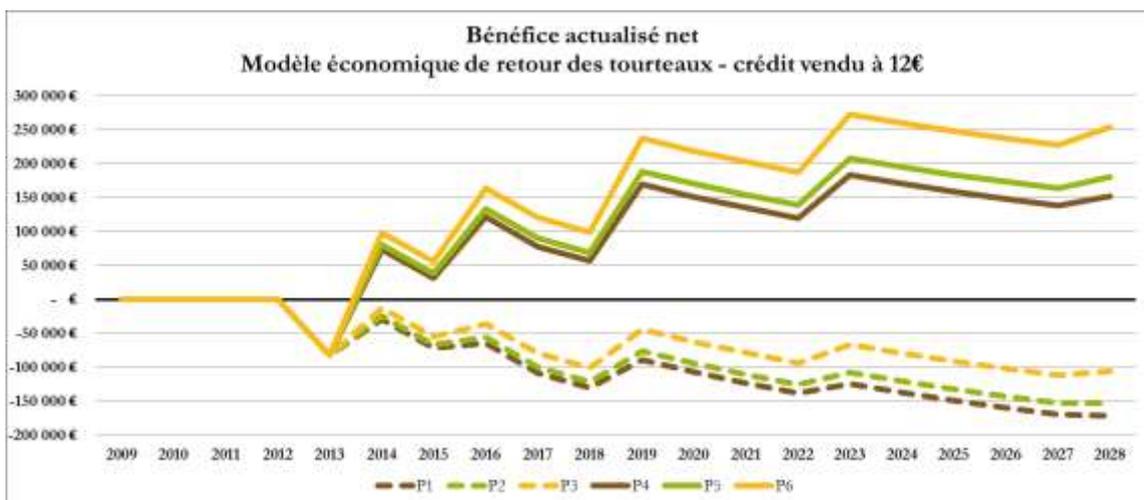


Figure 9: bénéfice actualisé net en euros selon scénario 1) - crédit à 12 € - date de début de projet en 2009

Bilan financier – modèle économique de soutien au prix d'achat de la graine

Pour ce modèle économique les bénéfices actualisés net sont plus faible, notamment dues à un potentiel de séquestration plus faible dans l'absence du retour des tourteaux au sol et à des incitations financières plus élevées.

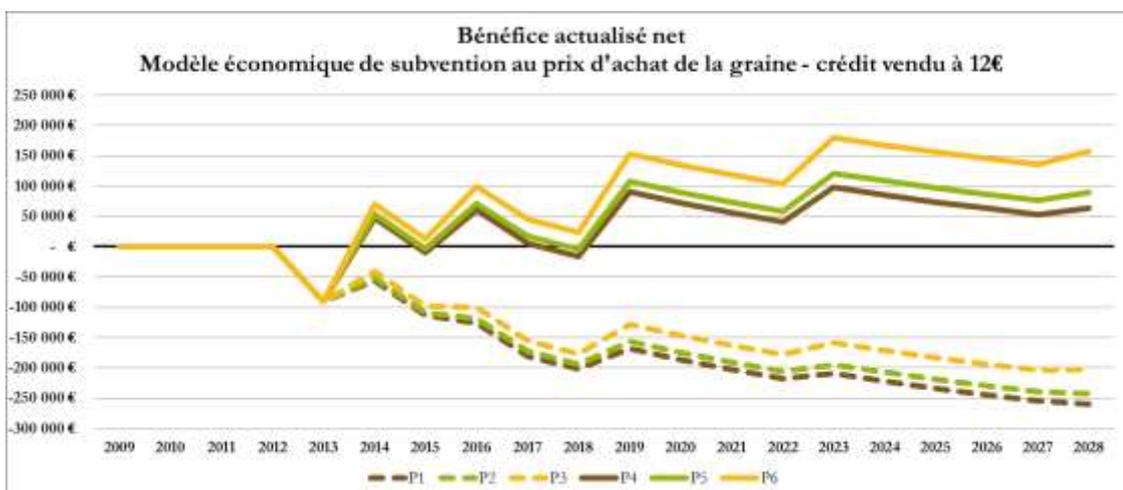


Figure 10: bénéfice actualisé net scénario 2) - crédit à 12€ - date de début de projet en 2009

L'ensemble des données est disponible en annexe 26 : résultats détaillés de l'analyse économique.

2.4. Le système de suivi, reporting et vérification à mettre en place

La forte variabilité du nombre de plants par hectare implique un nombre très important de parcelles à suivre pour atteindre la précision demandée. En considérant quatre années de plantations et quatre projets différents et en supposant une variabilité similaire à celle observée pour Genèse, le nombre de placettes à suivre est estimé à 528. Ce nombre risque cependant de sous-estimer l'effort de suivi nécessaire compte tenu de la probable augmentation de la variabilité des plantations avec les abandons de la culture de jatropha dans les années à venir.

Une autre approche basée sur la définition de valeurs par plants et non par parcelle apparaît plus intéressante dans le cas d'un projet jatropha. Cette approche est utilisée dans les projets du programme TIST (The International Small group Tree planting program) sur le standard VCS. Elle consiste en un suivi du nombre de plants présents sur toutes les parcelles et un échantillonnage de la biomasse par plant au lieu d'un échantillonnage par parcelle. Le calcul de l'incertitude s'effectue donc au niveau de l'arbre et non au niveau de la parcelle.

Le modèle RothC est linéaire vis-à-vis de l'apport en matière organique (Stewart & al., 2007). Il est donc possible de décomposer l'exploitation en une multitude de sous-ensembles pour le calcul du stock de carbone comme représenté ci-dessous.

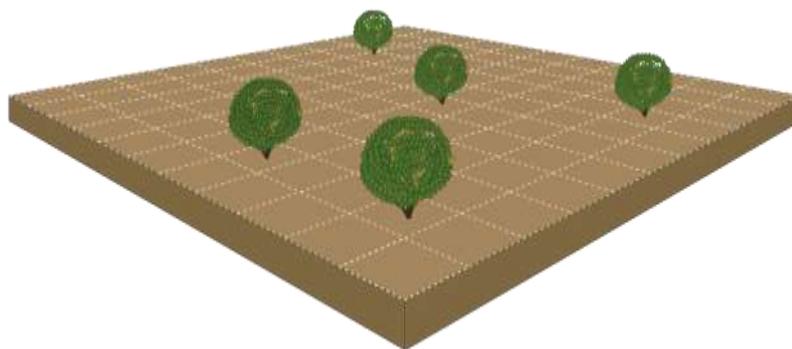


Figure 11: Illustration de la décomposition d'une parcelle en sous-ensembles pour la comptabilisation du carbone séquestré

En supposant que le jatropha couvre au maximum une surface de 3 m X 3 m, il est possible de définir une valeur moyenne de séquestration de carbone sur la base d'un échantillonnage de plants répartis en classes selon le climat, le type de sol, l'âge et l'écartement. De la même façon des valeurs pourraient être développées par mètre linéaire pour les haies et par mètre carré pour les cultures associées.

Une étude de précision sur les plants de 2008 de Genèse situés sur des sols qualifiés comme limoneux par la technique du boudin montre une incertitude de 11,35 % sur l'estimation du stock de carbone, ce qui est en dessous de la limite de 15% fixée par la méthodologie (voir

Annexe 27 : paramètres pour le calcul de l'incertitude du système de suivi)

Les plantations visitées sur des sols qualifiés d'argileux sont établies sur des sols avec un taux d'argile de 33 % selon HWSD (IIASA, 2012). La simulation de la séquestration de carbone par un plant de 2008 donne dans ce cas une incertitude de 9,88%.

Aucune des plantations visitées n'était établie sur un sol caractérisé comme sablonneux.

Cette étude montre donc, qu'à partir d'un échantillonnage par plant et non par placette, il est possible de calculer avec précision la séquestration de carbone par les plantations de jatropha. Ce système qui nécessite le comptage du nombre des plants de l'intégralité des parcelles reste cependant lourd (voir Annexe 28 : données à récolter pour le suivi).

3. Discussion et recommandations

3.1. Potentiel de réduction d'émissions de GES et de séquestration de carbone

Le jatropha présente un potentiel de séquestration limité inhérent à ses caractéristiques biologiques qui ne le rendent pas idéal pour un projet de séquestration de carbone dans les sols et la biomasse.

Les résultats précédents démontrent que les paramètres utilisés influencent fortement le potentiel de séquestration de carbone dans les sols. Il convient de noter que l'ensemble des jeux de paramètres utilisés dans le cadre de cette étude reste justifiable auprès d'un organisme de certification. La méthodologie SALM ne donne aucune directive détaillée sur les paramètres à utiliser ainsi que sur la méthode pour justifier la validité du modèle RothC. La forte variation entre ces paramètres montre que valider le modèle RothC est une condition nécessaire mais non suffisante pour valider la modélisation effectuée. Il est en effet absolument nécessaire de valider le système de modélisation dans son ensemble. La validation du modèle doit comprendre le système de calcul de l'apport en carbone organique à partir des diamètres mesurés ou de la production agricole estimée, la durée de couverture végétale considérée, la qualification de la résistance à la décomposition de la matière organique arrivant au sol et surtout, tenir compte de l'incertitude quant à la production agricole estimée par les fermiers. En ne demandant pas la validation de l'ensemble du système, le standard VCS laisse le développeur du projet carbone choisir les paramètres à utiliser. On ne pourrait que conseiller au standard VCS d'établir des directives sur l'origine ainsi que le domaine de validité des paramètres à utiliser dans les modèles de carbone des sols.

Parmi les paramètres du modèle RothC l'apport en matière organique et la durée de couverture végétale considérée ont eu une grande influence sur le stock de carbone organique modélisé. Shirato (2005) avait déjà montré l'importance de l'apport en matière organique mais aucun des auteurs cités ayant travaillé sur la validité de RothC n'avait mis en avant l'impact de la durée de couverture végétale considérée. La couverture végétale intervient dans les facteurs de décomposition liés à l'humidité et à la protection du sol. Il s'agit d'un paramètre important en milieu tropical car les sols s'assèchent très rapidement dès l'arrêt des pluies. Maes (2009) a montré que la transpiration baissait très rapidement suite à l'arrêt de l'irrigation. Le sol pourrait donc être considéré comme nu car ne permettant pas d'atteindre le déficit d'humidité maximal comme défini par Coleman (1999 (2008)). Compte tenu de l'importance de la couverture végétale sur le facteur d'humidité des sols et le résultat final, de plus amples recherches sont recommandées pour une meilleure estimation du taux d'humidité des sols à considérer pour une plantation de jatropha en saison sèche.

En modélisant les pratiques actuelles à l'équilibre, la méthodologie fait l'hypothèse pour le scénario de référence que les paysans n'adapteront pas leurs pratiques et que le processus de dégradation est inévitable. Une solution à la modélisation à l'équilibre des systèmes actuels serait d'utiliser le modèle RothC à deux compartiments de carbone organique, l'un stable et l'autre labile, comme développé par Traoré (2008). L'initialisation des quatre compartiments du modèle original demandant des analyses complexes (Shirato & Yokozawa, 2006) cette version modifiée présente un intérêt économique certain tout en offrant une précision comparable (Traoré & al., 2008). Les analyses de fractionnement de la matière organique restent cependant très peu répandues dans les pays de la sous-région, y compris au sein des laboratoires de recherches et les coûts des laboratoires français (environ 150€/échantillon) apparaissent rédhibitoires compte tenu du faible potentiel de rentabilité des projets carbone jatropha.

La méthodologie SALM tout comme le modèle RothC ne tient pas compte de l'érosion ce qui peut mener à d'importantes surestimations du stock de carbone organique des sols (Nieto & al., 2010). Des modifications sur le modèle RothC pourraient diminuer l'incertitude de la modélisation, notamment sur les sols à forte déclivité (Sanderman & Chappell, 2013). L'intégration de certaines parties de l'Universal Soil Loss Equation couplées à un coefficient de répartition du stock de carbone dans les horizons paraît être une piste de recherche intéressante.

La méthodologie SALM propose d'utiliser une période de transition de 20 ans pour arriver à l'état d'équilibre ce qui semble sous évaluer le temps réel pour arriver à l'état d'équilibre par rapport à des données pouvant être trouvées dans la littérature (Batjes, 2001). De plus, la linéarité de cette période de transition couplée à la linéarité du modèle RothC ne permet pas de modéliser l'évolution effective du stock de carbone organique qui suit une évolution asymptotique (Stewart & al., 2007).

Il apparaît des enquêtes terrain que l'installation du jatropha, spécialement pour les plantations en culture associée provoque un déplacement des cultures vers des terres laissées en jachère. Dans les calculs précédents les émissions dues au déplacement des cultures vers des zones cultivées de manière extensives n'ont pas été prises en compte en accord avec les lignes directrices de UNFCCC (2009b). Ce déplacement des cultures pourrait avoir un impact négatif sur le stock de carbone organique des sols en réduisant les durées de jachères. La quantification de cet impact apparaît cependant difficile à estimer. Les travaux de Manlay (2000) montrent par ailleurs un taux de carbone organique stable à travers une chronoséquence de jachères au Sénégal. La méthodologie SALM devrait être plus précise sur la définition de la zone de projet ainsi que les procédures pour la prise en compte des fuites. Les fuites dues aux changements d'usages des terres hors de la zone du projet provoquées par le déplacement des cultures ne sont nullement évoquées. La méthodologie considère comme implicite que la production agricole est stable ou en augmentation après la mise en place du projet ce qui n'est pas forcément le cas pour du jatropha.

Le suivi de l'impact de la séquestration de carbone organique dans les sols sur la production alimentaire devrait être un des critères d'éligibilité de la méthodologie SALM. Dans le cas du jatropha, la méthodologie SALM peut créer une incitation à l'application de grandes quantités de tourteaux dont l'effet sur la microbiologie des sols est incertain (Chaturvedi & al., 2012) avec des risques de toxicité encore peu connus. Une qualification de la matière organique éligible pourrait réduire ce type de risque.

Malgré ces critiques, cette étude a montré que les dynamiques de carbone organique des sols pouvaient être modélisées de manière crédible selon la méthodologie VCS SALM sous réserve de bien sélectionner les paramètres utilisés. Cette étude reste limitée par le nombre de prélèvements effectués ainsi que par l'incertitude liée à l'évaluation des pratiques de gestion de résidus de culture en l'absence d'un dispositif de suivi en place.

3.2. Faisabilité économique d'un projet SALM

Malgré la relative simplicité de la méthodologie, les coûts de transaction pour la mise en œuvre d'un projet carbone restent très importants.

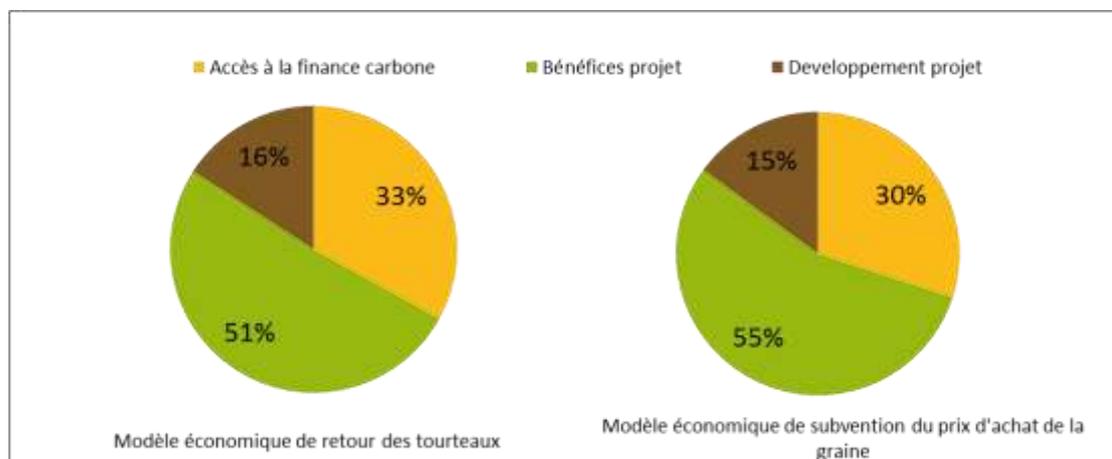


Figure 12: la typologie des coûts

Si le développement du projet carbone (études terrain, PIN, PDD, rapport de suivi) ne représente que 16 % des coûts selon le paramètre P5, les frais d'accès aux crédits carbone et aux marchés (validation, vérification, émission et vente des crédits carbone) ont représentés 33 % des coûts totaux avec plus de 430 000 € pour le scénario 1. Ces coûts de transactions sont concentrés en France et aux Etats-Unis. Hormis l'Afrique du Sud, aucune EOD éligible pour le standard VCS ne se trouve sur le continent africain. La demande en crédits carbone pour l'année 2011 étant à 88 % en Europe et en Amérique du Nord, la vente des crédits par des agents situés sur ces continents semble incontournable.

Les jeux de paramètres les plus rentables sont aussi les jeux de paramètres les moins corrélés avec les valeurs mesurées sur le terrain. Les crédits vendus sur le marché volontaire n'ont pas de prix de marché et varient fortement selon la nature du projet. Le graphique ci-dessus présente les derniers chiffres en date à l'heure de la rédaction du rapport sur le prix de vente des crédits issus des standards volontaires.

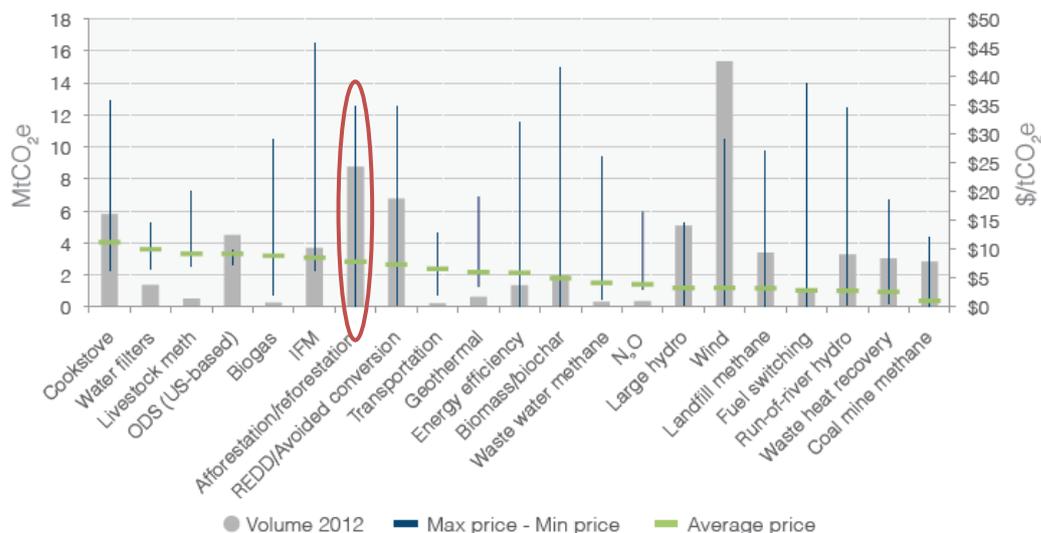


Figure 13 : Volume et prix moyen des crédits générés sur des standards volontaires par type de projets en 2012 (Graph : Ecosystem Marketplace, 2013)

Les crédits de type boisement/reboisement se vendent à un prix moyen de 8 \$/tCO₂e mais avec une forte variabilité selon la nature du projet. L'incertitude est donc forte quant aux revenus pouvant être issus de la vente des crédits générés, incertitude d'autant plus forte que le jatropha souffre d'une image négative auprès du grand public. Des échanges avec des porteurs de projets engagés dans un projet carbone sur du jatropha semblent indiquer que la demande pour ce type de crédit est très faible, sans perspectives d'améliorations à court-terme. Cette incertitude est renforcée par le fait que la densité réelle des plantations n'est pas toujours bien maîtrisée, ce qui peut créer un biais dans l'évaluation ex-ante du potentiel.

En modélisant la séquestration de carbone dans les sols, la méthodologie VCS SALM représente un coût d'opportunité important par rapport à la méthodologie MDP AMS-0007.

Les dernières méthodologies MDP proposent d'appliquer des valeurs par défaut au titre de la séquestration de carbone dans les sols. Ces méthodologies font l'hypothèse que le projet carbone augmente la séquestration de carbone du stock estimé actuel au stock contenu sous une végétation native. Au regard des résultats précédents, cette hypothèse apparaît comme très forte. Utiliser les jeux de paramètre de la méthodologie SALM le plus rentable (P6), représente un manque à gagner par rapport à la méthodologie MDP utilisant l'équation allométrique des paramètres P4, P5, P6. Si le positionnement du GERES est d'utiliser les paramètres les plus réalistes pour vendre un crédit plus cher, ce manque à gagner risque d'être difficilement approuvé par des projets dont le manque de financement est une menace pour leur survie.

L'étude des bénéfices potentiels a été réalisée pour permettre une inclusion de l'ensemble des parcelles plantées depuis 2008 dans un projet carbone. Cela implique cependant une validation du projet d'ici la fin 2013, ce qui ne paraît pas envisageable. Des études supplémentaires sont donc nécessaires pour estimer plus précisément le nombre de plants éligibles sur les différents projets.

Malgré ces limites, les études demandées par la méthodologie SALM pourraient permettre d'améliorer la rentabilité de la filière notamment en améliorant le suivi plantation et de la production. Les capacités d'extractions ne sont en effet pas toutes situées là où la rentabilité est maximale. La localisation GPS des plantations ainsi que de leur production de graines permet de localiser les endroits les plus pertinents pour l'installation de centres d'extraction d'huile et de concentrer les efforts là où la production et le prix du gazole sont les plus élevés.

En redistribuant les tourteaux de jatropha, très demandés par les fermiers, au prorata de la quantité de graines vendue les porteurs créent une réelle incitation à la vente des graines. De plus la valorisation des tourteaux augmente le potentiel de crédits carbone. En soutenant le prix d'achat de la graine à hauteur de 40 FCFA/ka (-10 %/an), la finance carbone pourrait aider à assurer l'approvisionnement des centres d'extraction et ainsi accélérer le développement des plateformes énergétiques.

CONCLUSION

La méthodologie VCS SALM apparaît comme étant capable de modéliser de façon crédible les dynamiques de carbone organique des sols des systèmes jatropha pour un coût relativement faible par rapport aux méthodologies basées sur des prélèvements terrain. Des axes de recherche complémentaires ont été proposés pour affiner les paramètres et améliorer la précision du modèle. Pour permettre une modélisation précise, il est fortement recommandé de valider l'ensemble du système et non uniquement le modèle RothC. Les standards doivent préciser les conditions d'éligibilité des paramètres pour assurer l'intégrité environnementale des crédits carbone générés. Des recherches doivent être menées pour permettre de mieux tenir compte de l'effet de l'érosion. Modéliser la séquestration de carbone organique des sols par arbre et non par placette, permet de diminuer fortement l'incertitude sur le suivi. Le développement des technologies de spectroscopie du proche et moyen infrarouge semblent être des solutions prometteuses pour permettre l'initialisation du modèle à bas coût et ainsi simuler l'évolution des stocks de carbone organique des sols au fil du projet sans avoir recours à une modélisation à l'équilibre.

Il a été montré que la finance carbone pouvait soutenir la filière à différents niveaux. Ce type de projets semble cependant très risqué pour l'entité de gestion notamment à cause d'une forte incertitude sur les plantations annoncées. Bien que cette étude ait diminué l'incertitude par des études de cas terrain, les résultats de l'analyse économique doivent être considérés avec précaution. Compte tenu des délais nécessaires pour effectuer la validation des plantations actuelle, une nouvelle étude n'intégrant que les parcelles plantées après 2010 semble nécessaire. Le jatropha ayant été vivement critiqué dans de nombreux médias, une étude de marché sur la vente de ces crédits carbone est indispensable pour renforcer l'analyse économique effectuée. De nombreux projets pourraient être tentés de rejoindre des structures programmatiques déjà validées pouvant permettre l'inclusion des plantations de 2008 ; il ne doivent cependant pas sous-estimer les exigences en terme de suivi qu'un tel projet implique ainsi que les risques d'une structure programmatique notamment en cas d'abandon de l'entité de gestion.

Au lancement de la majorité des projets du réseau, les connaissances sur le jatropha étaient limitées, le prix du pétrole au plus haut et le cours du coton en forte baisse sur les marchés. Cette situation est aujourd'hui différente, la fenêtre d'opportunité du jatropha s'est resserrée mais aussi précisée. Les plantations en haies apparaissent avoir un potentiel de séquestration de carbone dans les sols important et de nombreux co-bénéfices en matière de production alimentaire. De nombreuses améliorations sont encore nécessaires, notamment sur le potentiel agronomique et la lutte contre les ravageurs pour que la production de ces haies soit suffisante. D'autres sources de financements sont cependant indispensables pour soutenir la production d'huile de jatropha et des partenariats doivent être mis en place pour sa valorisation dans des plateformes énergétiques. Si les contraintes sont fortes et les risques élevés, l'effet structurant de la certification carbone semble bien pouvoir être un levier pour améliorer l'accès à l'énergie par les plantations de jatropha. Il reste que sans amélioration de la demande en crédits carbone, ce levier risque de rester théorique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abugre S., Oti-Boateng C. & Yeboah M. F., 2011. Litter fall and decomposition trend of *Jatropha curcas* L. leaves mulches under two environmental conditions. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2, 462-470.
- Achten W. M. J., Maes W. H., Aerts R., Verchot L., Trabucco A., Mathijs E., Singh V. P. & Muys B., 2009. *Jatropha*: From global hype to local opportunity. *Journal of Arid Environments*, 74, 164-165.
- Achten W. M. J., Maes W. H., Reubens B., Mathijs E., Singh V. P., Verchot L. & Muys B., 2010. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. *Biomass and Bioenergy*, 34, 667-676.
- Achten W. M. J., 2010. *Sustainability evaluation of biodiesel from Jatropha curcas L. A life cycle oriented study*, K.U. Leuven, Leuven, 200 p.
- Achten W. M. J. & Verchot L. V., 2011. Implications of Biodiesel-Induced Land-Use Changes for CO₂ Emissions: Case Studies in Tropical America, Africa and Southeast Asia. *Ecology and Society*, 16.
- Achten W. M. J., Trabucco A. & Maes W. H., 2012. Global greenhouse gas implications of land conversion to biofuel crop cultivation in arid and semi-arid lands e Lessons learned from *Jatropha*. *Journal of Arid Environments*, 1-11.
- Atela J. O., 2012. *The Politics of Agricultural Carbon Finance: The Case of the Kenya Agricultural Carbon Project*.
- Awonaike K. O., Kumarasinghe K. S. & Danso S. K. A., 1990. Nitrogen fixation and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*) as influenced by cultivar and Bradyrhizobium strain. *Field Crops Research*, 24, 163-171.
- Batjes N. H., 2001. Options for Increasing Carbon Sequestration in West African Soils: an Exploratory Study with Special Focus on Senegal. *Land Degradation & Development*, 12, 131 - 142.
- Baumert S., 2011. *Carbon sequestration through Jatropha curcas afforestation: preliminary results from Burkina Faso*. Bohn, Tropentag.
- Baumert S., 2012a. Personal communication.
- Baumert S., 2012b. *Soil Carbon Dynamics under Jatropha curcas Systems in Burkina Faso*. Göttingen, Tropentag.
- Bazongo P., 2011. *Introduction du Jatropha dans les exploitations agricoles de la zone ouest du Burkina Faso: Etat des lieux et effet de la plante sur les propriétés chimiques du sol et les cultures associées*, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, 69 p.
- Bellassen V., Stephan N. & Leguet B., 2012. *Y aura t-il un prix de marché pour les CER et ERU dans deux ans ?*
- Bellon-Maurel V. r. & McBratney A., 2011. Near-infrared (NIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopic techniques for assessing the amount of carbon stock in soils - Critical review and research perspectives. *Soil Biology & Biochemistry*, 43, 1398-1410.
- Bernoux M., Feller C., Cerri C. C., Eschenbrenner V. & Cerra V., 2006. Soil Carbon Sequestration. In: C. Publisher (Ed.) *Erosion and Carbon Dynamics*, pp. 12-22.
- Blanchard M. I., 2010. *Gestion de la fertilité des sols et rôle du troupeau dans les systèmes coton-céréales-élevage au Mali-Sud. Savoirs techniques locaux et pratiques d'intégration agriculture élevage*, Université Paris-Est, Creteil, 301 p.
- Bostick W. M., Bado V. B., Bationo A. & Soler C. T., 2007. Soil carbon dynamics and crop residue yields of cropping systems in the Northern Guinea Savanna of Burkina Faso. *Soil & Tillage Research*, 93, 138-151.
- Bouffaron P., Castagno F. & Herold S., 2012. Straight vegetable oil from *Jatropha curcas* L. for rural electrification in Mali: A techno-economic assessment. *Biomass and Bioenergy*, 37, 298-308.

- Boyd E., Hultman N., Roberts J. T., Corbera E., Cole J., Bozmoski A., Ebeling J., Tippman R., Mann P., Brown K. & Liverman D. M., 2009. Reforming the CDM for sustainable development: lessons learned and policy futures. *Environmental Science & Policy*, 12, 820-831.
- Braun J. v. & Tadesse G., 2012. Global Food Price Volatility and Spikes: An Overview of Costs, Causes, and Solutions. *ZEF-Discussion Papers on Development Policy*, 161.
- Bumiller E. & Nagourney A., 2006. Bush: 'America is addicted to oil'. *The New York Times* (Washington).
- CDC Climat, 2012a. *Dix Enseignements pour les Dix ans au MDP*. Paris, CDC Climat.
- CDC Climat, 2012b. *Le MDP : ne jetons pas aux oubliettes un outil qui a levé plus de 200 milliards de dollars*. Paris, CDC Climat.
- CDC Climat, 2013. *Réforme de l'EU ETS: donnez-lui du travail !* Paris, CDC Climat.
- Cerri C. E. P., Easter M., Paustian K., Killian K., Coleman K., Bernoux M., Falloon P., Powelson D. S., Batjes N., Milne E. & Cerri C. C., 2007. Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from the Brazilian Amazon with RothC and Century models. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122, 46-57.
- Chaturvedi S., Kumar A., Singh B., Nain L., Joshi M. & Satya S., 2012. Bioaugmented composting of Jatropha de-oiled cake and vegetable waste under aerobic and partial anaerobic conditions. *Journal of Basic Microbiology*, 52, 1-9.
- Chiroma A. M., Folorunso O. A. & Alhassan A. B., 2006. Soil water conservation, growth, yield and water use efficiency of sorghum as affected by land configuration and wood-shavings mulch in semi-arid northeast Nigeria. *Experimental Agriculture*, 42, 199-216.
- CIA, 2012. *The World Factbook* [en ligne]. Disponible sur Internet, <<https://http://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/%3E>, [consulté le 20/01/2013].
- Coleman K. & Jenkinson D., 1996. RothC 26.3 - A model for the turnover of carbon in soil. In: Springer (Ed.) *Evaluation of Soil Organic Matter Models using Existing, Long-term Datasets*.
- Coleman K. & Jenkinson D., 1999 (2008). *A model for the turnover of carbon in soil*. Rothamsted, Rothamsted Research.
- Collinson S. T., Berchie J. & Azam-Ali S. N., 1999. The effect of soil moisture on light interception and the conversion coefficient for three landraces of bambara groundnut (*Vigna subterranea*). *Journal of Agricultural Science*, 133, 151-157.
- Collinson S. T., Sibuga K. P., Tarimo A. J. P. & Azam-Ali S. N., 2000. Influence of sowing date on the growth and yield of bambara groundnut landraces in Tanzania. *Experimental Agriculture*, 36, 1-13.
- D'Souza S., 2012. Blame and Misinformation in a Smallholder Carbon Market Project. *The Bulletin of the Yale Tropical Resources Institute*, 31, 41-48.
- Dabin B., 1970. *Analyse des matières organiques*. Bondy, ORSTOM.
- Degail A.-C. & Chantry J., 2012. Developing Jatropha projects with smallholder farmers. *FACTS* (Special Issue 7).
- DGD, 2012. Interests of Establishing a Local Chain of production and marketing based on the cultivation of jatropha (*Jatropha curcas* L.) in the rural community of Dialacoto (Tambacouda region, Eastern Senegal). *Tropicultura*, 31 (4), 254-255.
- Diels J., Lyasse O., Sanginga N., Vanlauwe B., Aihou K., Iwuafor E. N. O., Merckx R. & Deckers J., 2002. Options for Soil Organic Carbon Maintenance Under Intensive Cropping in the West-African Savanna. In: IAEA (Ed.) *Management of crop residues for sustainable crop production*, pp. 99-109.
- Diels J., Vanlauwe B. & Meersch M. K. V. d., 2004. Long-term soil organic carbon dynamics in a subhumid tropical climate: 13C data in mixed C3/C4 cropping and modeling with RothC. *Soil Biology & Biochemistry*, 36, 1739-1750.

- DNV, 2012. *Mali Jatropha Curcas Plantation Project Validation Report*. Høvik, DNV.
- Dufumier M., 2005. *Etude des systèmes agraires et typologie des systèmes de production agricole dans la région cotonnière du Mali*. Paris.
- Dyer J. C., Stringer L. C. & Dougill A. J., 2012. *Jatropha curcas*: Sowing local seeds of success in Malawi? In response to Achten et al. (2010). *Journal of Arid Environments*, 79, 107-110.
- Eckart K. & Henshaw P., 2012. *Jatropha curcas* L. and multifunctional platforms for the development of rural sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development*, 16, 303-311.
- Eco-Carbone, 2012a. *Eco-carbone reçoit la certification VCS pour les crédits carbone de son projet au Mali*. Paris, Eco-Carbone.
- Eco-Carbone, 2012b. *Mali Jatropha Curcas Plantation Project Design Document*. Paris, Eco-Carbone.
- Eijk J. v., Smeets E., Romijn H., Balkema A. & Jongschaap R., 2010. *Jatropha Assessment*. NL Agency.
- Eijk J. v., Smeets E. & Faaij A., 2012. *Jatropha*: A Promising Crop for Africa's Biofuel Production? In: Springer (Ed.) *Bioenergy for Sustainable Development in Africa*.
- EPA, 2012. *Renewable Fuel Standard (RFS)* [en ligne]. Disponible sur Internet, <<http://www.epa.gov/otaq/fuels/renewablefuels/index.htm%3E>, [consulté le 15/08/2012].
- European Commission, 2012. *Biofuels and other renewable energy in the transport sector* [en ligne]. Disponible sur Internet, <http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/biofuels_en.htm%3E, [consulté le 15/08/2012].
- Fairless D., 2007. Biofuel: The little shrub that could - maybe. *Nature*, 449, 4.
- FAO, *A Methodology of a Visual Soil - Field Assessment Tool*. Rome, FAO.
- FAO, 2008a. *Biofuels: Prospects, Risks and Opportunities*. Rome, FAO.
- FAO, 2008b. *Submission to AWG-LCA "The Carbon Sequestration potential in Agricultural Soils"*. Rome, FAO.
- FAO, 2012. *FAOSTAT* [en ligne]. Rome. Disponible sur Internet, <<http://faostat.fao.org/%3E>, [consulté le 08/09/2012].
- Farage P. K., Ardo J., Olsson L. & Rienzi E. A., 2007. The potential for soil carbon sequestration in three tropical dryland farming systems of Africa and Latin America: A modelling approach. *Soil & Tillage Research*, 94, 457-472.
- Fargione J. E., Hill J., Tilman D., Polasky S. & Hawthorne P., 2008. Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. *Science*, 319, 1235-1239.
- Fargione J. E., Plevin R. J. & Hill J. D., 2010. The Ecological Impact of Biofuels. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41, 351-377.
- Faye A., Fall C. S., Dia D., Ndour A., Wade I. & Diédhiou I., 2012. *Impact de l'introduction des biocarburants au Sénégal*. Dakar, ISRA-BAME. 2 p.
- Faye N. F., 2012. *Le secteur de l'énergie au Sénégal: Bilan sur la politique de développement de la filière biocarburant*. Dakar, JatroREF.
- Francis G., Edinger R. & Becker K., 2005. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Natural Resources Forum*, 29, 12-24.
- Friends of the Earth, 2010. *Jatropha: money doesn't grow on trees*. Amsterdam, Friends of the Earth.

- Garcia-Oliva F. & Masera O. R., 2004. Assessment and Measurement Issues Related to Soil Carbon Sequestration in Land-Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF) Projects under the Kyoto Protocol. *Climatic Change*, 65, 347-364.
- GEF, 2010. *Promotion of Jatropha Curcas as a resource of Bioenergy in Burkina-Faso - Project Identification Form*
- Ghezehei S. B., Annandale J. G. & Everson C. S., 2010. Shoot allometry of *Jatropha curcas*. *Southern Forests*, 71, 279–286.
- Gilbert N., 2011. The seeds of an economy. *Nature - Outlook: biofuels*, 474, S18-S19.
- Hellings B. F., Romijn H. A. & Franken Y. J., 2012. *Working Paper: Carbon storage in Jatropha curcas trees in Northern Tanzania*. Eindhoven, FACT.
- Hofmann M., Morris G., Ballard-Tremeer G. & Khatun K., 2012. Financing of Biofuel Projects in Africa. In: Springer (Ed.) *Bioenergy for Sustainable Development in Africa*.
- Hufty M., 2007. La gouvernance est-elle un concept opérationnel ? Proposition pour un cadre analytique. *Fédéralisme Régionalisme*, 7.
- IIASA, 2012. *Harmonized World Soil Database*. Laxenburg, IIASA.
- IPCC, 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry, and Other Land Use*. Hayama, IPCC.
- IRAM & GERES, 2013. *La charte du réseau JatroREF*. Montpellier, JatroREF.
- Ishag H. M., 2000. Phenotypic and yield responses of irrigated groundnut cultivars in a hot environment. *Experimental Agriculture*, 36, 303-312.
- Johnson J. M.-F., Barbour N. W. & Weyers S. L., 2007. Chemical composition of crop biomass impacts its decomposition. *Soil Biology & Biochemistry*, 71, 155-162.
- Jongschaap R. E. E., Corré W. J., Bindraban P. S. & Brandenburg W. A., 2007. *Claims and Facts on Jatropha curcas L.* Wageningen, Plant Research International BV.
- Kamoni P. T., Gicheru P. T., Wokabi S. M., Easter M., Milne E., Coleman K., Falloon P., Paustian K., Killian K. & Kihanda F. M., 2007. Evaluation of two soil carbon models using two Kenyan long term experimental datasets. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122, 95-104.
- Kaonga M. L. & Coleman K., 2008. Modelling soil organic carbon turnover in improved fallows in eastern Zambia using the RothC-26.3 model. *Forest Ecology and Management* 256, 1160-1166.
- Kossila V., 1988. The availability of crop residues in developing countries in relation to livestock population. In: I. L. C. o. Africa (Ed.) *Plant Breeding and the Nutritive Value of Crops Residues*.
- Kossoy A., 2012. *State and trends of the Carbon Market 2012*. Washington D.C., World Bank.
- Kumhof M. & Muir D., 2012. *Oil and the World Economy: Some Possible Futures*. Washington D.C., International Monetary Fund.
- Lal R., 2004. Soil Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change. *Geoderma*, 123, 1–22.
- Lal R., 2010. Beyond Copenhagen: mitigating climate change and achieving food security through soil carbon sequestration. *Food Security*, 2, 169–177.
- Lavigne-Delville P. & Wybrecht B., 2002. Les diagnostics, outils pour le développement. In: CIRAD and GRET (Eds.), *Le Memento de l'Agronome*.
- Maes W. H., Achten W. M. J., Reubens B., Raes D., Samson R. & Muys B., 2009. Plant–water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas L.* seedlings under different levels of drought stress. *Journal of Arid Environments*, 73, 877–884.

- MaliBiocarburant, 2012. *Les crédits carbone Fondation Mali Biocarburant* [en ligne]. Disponible sur Internet, <<http://www.malibiocarburant.com/malibio/les-credits-carbone/%3E>, [consulté le 30/08/2012].
- Manlay R. I. J., Cadet P., Thioulouse J. & Chotte J.-L., 2000. Relationships between abiotic and biotic soil properties during fallow periods in the sudanian zone of Senegal. *Applied Soil Ecology*, 14, 89–101.
- Mcdonagh J. F. & Hillyer A. E. M., 2003. Grain legumes in pearl millet systems in northern namibia: an assessment of potential nitrogen contributions. *Experimental Agriculture*, 39, 349-362.
- Mermet L., 1992. *Strategies pour la Gestion de l'Environnement. La nature comme jeu de société ?* L'Harmattan, Paris, 205 p.
- Michels K., Lamers J. P. A. & Buerkert A., 1998. Effects of windbreak species and mulching on wind erosion and millet yield in the Sahel. *Experimental Agriculture*, 34, 449-464.
- Michels K. & Biielders C. L., 2006. Pearl millet growth on an erosion-affected soil in the Sahel. *Experimental Agriculture*, 42, 1-17.
- Ministères des Mines des Carrières et de l'Energie, 2009. *Document Cadre de Politiques de Développement des Agrocarburants au Burkina Faso*.
- Mitchell D., 2008. *A Note on Rising Food Prices*. Washington D.C., World Bank.
- Nakamura S., Hayashi K. & Omae H., 2011. Validation of soil organic carbon dynamics model in the semi-arid tropics in Niger, West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 89, 375–385.
- Nature, 2000. Critical politics of carbon sinks. *Nature*, 408.
- Nieto O. M., Castro J., Fernandez E. & Smith P., 2010. Simulation of soil organic carbon stocks in a Mediterranean olive grove under different soil-management systems using the RothC model. *Soil Use and Management*, 26, 118-125.
- Ntare B. R. & Williams J. H., 1993. Selection of cowpea cultivars for cool-season production in the Sahel. *Field Crops Research*, 32, 27-39.
- OCDE/I.E.A., 2011. *World Energy Outlook*. Paris, International Energy Agency.
- Openshaw K., 2000. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy*, 19, 1-15.
- Pallièrè G. r. & Fauveaud S., 2009. *Les enjeux des agrocarburants pour le monde paysan au Mali*. Aubagne, GERES.
- Peters G. P., Andrew R. M., Boden T., Canadell J. G., Ciais P., Quéré C. L., Marland G., Raupach M. R. & Wilson C., 2012. The challenge to keep global warming below 2 °C. *Nature Climate Change*, 3 (1).
- Peters-Stanley M. & Hamilton K., 2012a. *Developing Dimension: State of the Voluntary Carbon Markets 2012*. Washington D.C., Ecosystem Marketplace, Bloomberg New Energy Finance.
- Peters-Stanley M. & Hamilton K., 2012b. *Leveraging the Landscape: State of the Forest Carbon Markets 2012*. Washington D.C., Ecosystem Marketplace, Forest Trends.
- Rasmussen L. V., Rasmussen K. & Bruun T. B., 2012. Impacts of *Jatropha*-based biodiesel production on above and below-ground carbon stocks: A case study from Mozambique. *Energy Policy*, 51, 728-736.
- Reddy K. C., Visser P. & Buckner P., 1992. Pearl millet and cowpea yields in sole and intercrop systems, and their after-effects on soil and crop productivity. *Field Crops Research*, 28, 315-326.
- Renssen S. V., 2011. A biofuel conundrum. *Nature Climate Change*, 1.
- Reynolds T. W., 2012. Institutional Determinants of Success Among Forestry-Based Carbon Sequestration Projects in Sub-Saharan Africa. *World Development*, 40 (3), 542-554.

- Ringius L., 2002. Soil Carbon Sequestration and the CDM: Opportunities and Challenges for Africa. *Climatic Change*, 54, 471–495.
- Robbins M., 2011. Fuelling politics. *Nature - Outlook: biofuels*, 474.
- Rouw A. D. & Winkel T., 1998. Drought avoidance by asynchronous flowering in pearl millet stands cultivated on-farm and on-station in Niger. *Experimental Agriculture*, 34, 19-39.
- Rovira P. & Vallejo V. R. n., 2002. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. *Geoderma*, 107, 109-141.
- Sanchez P. A. & Buresh R. J., 1997. *Replenishing Soil Fertility in Africa*. Madison, Soil Science Society of America.
- Sanderman J. & Chappell A., 2013. Uncertainty in soil carbon accounting due to unrecognized soil erosion. *Global Change Biology*, 19, 264-272.
- Shames S., Wekesa A. & Wachiye E., 2012a. *Case Study: Western Kenya Smallholder Agriculture Carbon Finance Project: Vi Agroforestry*. Copenhagen, CGIAR.
- Shames S., Wollenberg E., Buck L. E., Kristjanson P., Masiga M. & Biryahwaho B., 2012b. *Institutional innovations in African smallholder carbon projects*. Copenhagen, CGIAR.
- Sharma D. K. & Pandey A. K., 2009. Use of *Jatropha curcas* hull biomass for bioactive compost production. *Biomass and Bioenergy*, 33, 159-162.
- Sharma S., Verma M. & Sharma A., 2012. Utilization of Non Edible Oil Seed Cakes as Substrate for Growth of *Paecilomyces lilacinus* and as Biopesticide Against Termites. *Waste and Biomass Valorization*, 325-330.
- Shirato Y., Paisancharoen K., Sangtong P., Nakviro C., Yokozawa M. & Matsumoto N., 2005. Testing the Rothamsted Carbon Model against data from long-term experiments on upland soils in Thailand. *European Journal of Soil Science*, 56, 179-188.
- Shirato Y. & Yokozawa M., 2006. Acid hydrolysis to partition plant material into decomposable and resistant fractions for use in the Rothamsted carbon model. *Soil Biology & Biochemistry*, 38, 812-816.
- Simonet G., Bouculat G. & Oliveira A., 2012. *Forest carbon : tackling externalities*. Paris, Université Paris Dauphine.
- Smith P., Smith J. U., Powlson D. S., McGill W. B., Arah J. R. M., Chertov O. G., Coleman K., Franko U., Folking S. & Jenkinson D. S., 1997. A Comparison of the Performance of Nine Soil Organic Matter Models Using Datasets from Seven Long-Term Experiments. *Geoderma*, 81, 153-225.
- Smith P., 2004. Monitoring and verification of soil carbon changes under Article 3.4 of the Kyoto Protocol. *Soil Use and Management*, 20, 264-270.
- Smith P. & Martino D., 2007. *Agriculture. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. IPCC.
- SOCOCIM Industries, 2011. *CDM PDD: Partial Substitution of Coal by Jatropha Fruits and Biomass Residues in the Production of Portland Cement*. SOCOCIM Industries.
- Soulama S., 2008. *Influence du Jatropha Curcas dans la séquestration de carbone et essai de compostage*, Université de Ouagadougou, Ouagadougou, 56 p.
- Stewart C. E., Paustian K., Conant R. T., Plante A. F. & Six J., 2007. Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. *Biogeochemistry*, 86, 19-31.
- Subbarao G. V., Renard C., Payne W. A. & Bationo A., 2000. Long-Term Effects of Tillage, Phosphorus Fertilization and Crop Rotation on Pearl Millet and Cowpea Productivity in the West- African Sahel. *Experimental Agriculture*, 36, 243 - 264.

- Terren M., Saverys S., Haveskercke P. J. d., Winandy S. & Mergeai G., 2012a. Attempted Cultivation of *Jatropha curcas* L. in the Lower Senegal River Valley: Story of a Failure. *Tropicultura*, 30, 204-208.
- Terren M., Saverys S., Haveskercke P. J. d., Winandy S. & Mergeai G., 2012b. Principal Disease and Insect Pests of *Jatropha curcas* L. in the Lower Valley of the Senegal River. *Tropicultura*, 30, 222-229.
- The Secretary-General's Advisory Group on Energy and Climate Change, 2010. *Energy for a Sustainable Future: Report and Recommendations*. New York, AGECC.
- Thiaw S., Hall A. E. & Parker D. R., 1993. Varietal intercropping and the yields and stability of cowpea production in semiarid Senegal. *Field Crops Research*, 33, 217-233.
- Townshend J., Hansen M., Carroll M. & DiMiceli C., 2012. *User Guide for the MODIS Vegetation Continuous Fields product*.
- Trabucco A., Achten W. M. J., Bower C., Aerts R., Orshoven J. V., Norgrove L. & Muys B., 2010. Global mapping of *Jatropha curcas* yield based on response of fitness to present and future climate. *Global Change Biology Bioenergy*, 2, 139-151.
- Traore P. C. S., Bostick W. M. & Jones J. W., 2008. A simple soil organic-matter model for biomass data assimilation in community-level carbon contracts. *Ecological Applications*, 18, 624-636.
- Tschakert P., 2004. The costs of soil carbon sequestration: an economic analysis for small-scale farming systems in Senegal. *Agricultural Systems*, 81, 227-253.
- UNFCCC, 2009a. *Approved simplified baseline and monitoring methodology for small-scale agroforestry - afforestation and reforestation project activities under the clean development mechanism*.
- UNFCCC, 2009b. *Guidelines on conditions under which increase in GHG emissions attributable to displacement of pre-project crop cultivation activities in A/R CDM project activity is insignificant*.
- UNFCCC, 2011. *Demonstrating appropriateness of allometric equations for estimation of aboveground tree biomass in A/R CDM project activities*.
- UNFCCC, 2012a. *Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities*.
- UNFCCC, 2012b. *Information note: Default values of fNRB for LDCs and SIDs*.
- UNFCCC, 2012c. *Methodological Tool for the demonstration and assessment of additionality*.
- UNFCCD, 2008. *Submission to AWG-LCA "Required policy actions to include carbon contained in soils including the use of biochar (charcoal) to replenish soil carbon pools, and restore soil fertility and sequester CO₂"*.
- Unruh J. D., 2008. Carbon sequestration in Africa: The land tenure problem. *Global Environmental Change*, 18, 700-707.
- Vagen T.-G., Lal R. & Singh B. R., 2004. Soil Carbon Sequestration in Sub-Saharan Africa: a review. *Land Degradation & Development*, 16, 53 - 71.
- Verified Carbon Standard, 2012. *Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) Requirements*.
- Vogel H., 1993. Tillage effects on maize yield, rooting depth and soil water content on sandy soils in Zimbabwe. *Field Crops Research*, 33, 367-384.
- Waddington S. R. & Karigwindi J., 2001. Productivity and profitability of maize + groundnut rotations compared with continuous maize on smallholder farms in Zimbabwe. *Experimental Agriculture*, 37, 83-98.
- Wahl N., Jamnadass R., Baur H., Munster C. & Iiyama M., 2009. *Economic viability of *Jatropha curcas* L. plantations in Northern Tanzania*. Nairobi, World Agroforestry Centre.

- Wani S. P., Chander G., Sahrawat K. L., Rao C. S., Raghvendra G., Susanna P. & Pavani M., 2012. Carbon sequestration and land rehabilitation through *Jatropha curcas* (L.) plantation in degraded lands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 161, 112–120.
- Williams S., 2012. Personal communication.
- World Bank, 2012. *New Soil Carbon Methodology Approved* [en ligne]. Washington DC. Disponible sur Internet, <<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/NEWS/0,,contentMDK:23100745~pagePK:64257043~piPK:437376~theSitePK:4607,00.html%3E>, [consulté le 02/05/2012].
- Wu J., O'Donnell A. G., Syers J. K., Adey M. A. & Vityakon P., 1998. Modelling soil organic matter changes in ley-arable rotations in sandy soils of Northeast Thailand. *European Journal of Soil Science*, 49, 463-470.
- Yevich R. & Logan J. A., 2002. *An assessment of biofuel use and burning of agricultural waste in the developing world*. Cambridge, Harvard University.

ILLUSTRATIONS

| | |
|--|----|
| FIGURE 1: REPRESENTATION SIMPLIFIEE DES TRANSFERTS DE MATIERE ORGANIQUE AU SEIN D'UNE EXPLOITATION TYPE D'AFRIQUE DE L'OUEST | 7 |
| FIGURE 2 : EQUATIONS ALLOMETRIQUES POUR LE JATROPHA CURCAS L..... | 9 |
| FIGURE 3: RATIOS RESIDUS/PRODUITS RECOLTES | 11 |
| FIGURE 4: ARCHITECTURE DU SYSTEME D'ANALYSE DU POTENTIEL EN CREDITS CARBONE | 15 |
| FIGURE 5 : VALIDATION DU MODELE ROTHC POUR LES DIFFERENTES REGIONS CLIMATIQUES DU GIEC | 18 |
| FIGURE 6: CORRELATION DES MODELISATIONS AVEC LES PARAMETRES P1 ET LES VALEURS ISSUES DES ANALYSES DE SOLS (EN TC/HA)..... | 18 |
| FIGURE 7: POTENTIEL DE SEQUESTRATION EN TCO ₂ (SOLS ET BIOMASSE) PAR LES PLANTATIONS DE 2008 MODELISEES A L'EQUILIBRE EN HECTARES EQUIVALENT..... | 19 |
| FIGURE 9: POTENTIEL DE SEQUESTRATION DES PLANTATIONS DU RESEAU SELON LES MODELES | 20 |
| FIGURE 10: BENEFICE ACTUALISE NET EN EUROS SELON SCENARIO 1) - CREDIT A 12 € - DATE DE DEBUT DE PROJET EN 2009..... | 21 |
| FIGURE 11: BENEFICE ACTUALISE NET SCENARIO 2) - CREDIT A 12€ - DATE DE DEBUT DE PROJET EN 2009..... | 21 |
| FIGURE 12: ILLUSTRATION DE LA DECOMPOSITION D'UNE PARCELLE EN SOUS-ENSEMBLES POUR LA COMPTABILISATION DU CARBONE SEQUESTRE..... | 22 |
| FIGURE 13: LA TYPOLOGIE DES COUTS | 24 |
| FIGURE 14 : VOLUME ET PRIX MOYEN DES CREDITS GENERES SUR DES STANDARDS VOLONTAIRES PAR TYPE DE PROJETS EN 2012 (GRAPH : ECOSYSTEM MARKETPLACE, 2013) | 25 |
| FIGURE 15: EVOLUTION DU COURS DES CREDITS CER ; SOURCE : CDC CLIMAT (2013)..... | 39 |
| FIGURE 16: CARTOGRAPHIE DES STANDARDS CARBONE ; SOURCE : SIMONET & AL (2012) | 40 |
| FIGURE 17: STRUCTURE DU MODELE ROTHC ; SOURCE : COLEMAN ET JENKINSON (1996)..... | 41 |
| FIGURE 18: CARTOGRAPHIE DU COUVERT BOISE DANS LA ZONE D'INTERVENTION DE GENESE | 56 |
| FIGURE 19: ANALYSE DE LA COUVERTURE BOISEE SUR IMAGEJ A PARTIR DE PHOTOS SATELLITES | 58 |
| FIGURE 20: DEGRADATIONS DES TERRES SELON GLASOD..... | 59 |
| FIGURE 21: EVOLUTION DES RENDEMENTS PARMIS LES FERMIERS INTERROGES DANS LES ZONES D'ACTION DE ALTERRE ET GENESE..... | 59 |
| FIGURE 22: EVOLUTION DES SUPERFICIES AGRICOLES ET FORESTIERES POUR LE BENIN (DONNEES FAO)..... | 62 |
| FIGURE 23: EVOLUTION DES SUPERFICIES AGRICOLES ET FORESTIERES POUR LE BURKINA FASO (DONNEES FAO) | 62 |
| FIGURE 24: EVOLUTION DES SUPERFICIES AGRICOLES ET FORESTIERES POUR LE MALI (DONNEES FAO) | 62 |

| | |
|---|----|
| FIGURE 25: EVOLUTION DES SUPERFICIES AGRICOLES ET FORESTIERES POUR LE SENEGAL (DONNEES FAO)..... | 63 |
| FIGURE 26: PREDICTION DE LA SEQUESTRATION DE CARBONE PAR DES JEUX DE PARAMETRES PAR RAPPORT AUX RESULTATS DES ANALYSES DE SOLS | 64 |

TABLEAUX

| | |
|--|----|
| TABLEAU 1: RATIOS C/N ET LIGNINE/N DU JATROPHA COMPARES A D'AUTRES GENRES | 12 |
| TABLEAU 2: LES JEUX DE PARAMETRES UTILISES DANS LE CADRE DE L'ETUDE | 14 |
| TABLEAU 3: DONNEES STATISTIQUES DE PREDICTION DES RESULTATS MESURES | 18 |
| TABLEAU 4: POTENTIEL DE SEQUESTRATION MOYEN EN TCO ₂ /HECTARES EQUIVALENTS (SOLS ET BIOMASSE) PAR LES PLANTATIONS DE 2008 MODELISEES A L'EQUILIBRE..... | 19 |
| TABLEAU 9: DONNEES NECESSAIRES AU MODELE ROTHC..... | 41 |
| TABLEAU 10: LES CRITERES DE SELECTION DE L'ETUDE DE CAS POUR LES PROJETS DU RESEAU JATROREF..... | 42 |
| TABLEAU 15: LES DEFINITIONS NATIONALES DE FORETS SELON LES DECLARATIONS DES AUTORITES NATIONALES DESIGNES A UNFCCC..... | 43 |
| TABLEAU 16: LES RATIOS RESIDUS/PRODUITS RECOLTES ELABORES PAR WILLIAMS POUR LE GIEC | 44 |
| TABLEAU 17: LES RATIOS RESIDUS/PRODUITS RECOLTES DEVELOPPES POUR L'ETUDE A PARTIR D'UNE REVUE DE LA LITTERATURE..... | 44 |
| TABLEAU 18: LES RESULTATS D'ANALYSES CHIMIQUES DES COQUES ET TOURTEAUX RECOLTES CHEZ GENESE..... | 45 |
| TABLEAU 19: LES COUTS DE LA MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET SALM EN EUROS | 46 |
| TABLEAU 20: TAUX DE COUVERTURE BOISEE POUR LES 242 PARCELLES GEOREFERENCEES DE GENESE – DONNEES MODIS/LANDSAT | 56 |
| TABLEAU 21: ETUDE DE LA COUVERTURE BOISEE SUR LES PARCELLES VISITEES | 57 |
| TABLEAU 23: DONNEES STATISTIQUES DE PREDICTION DES RESULTATS MESURES | 64 |
| TABLEAU 32: RESULTAT DE L'ANALYSE DES RISQUES SELON LE STANDARD VCS..... | 65 |
| TABLEAU 49: BENEFICES ACTUALISES NETS POUR LE SCENARIO 1 | 71 |
| TABLEAU 56: BENEFICES ACTUALISES NETS POUR LE SCENARIO 2 | 71 |
| TABLEAU 57 : PARAMETRES POUR LE CALCUL DE L'INCERTITUDE DU CALCUL DE LA SEQUESTRATION DE CARBONE PAR UN PLANT DE 2008 SUR UN SOL LIMONEUX..... | 73 |
| TABLEAU 58: DONNEES DE SUIVI A RECOLTER SUR TOUTES LES PARCELLES | 74 |
| TABLEAU 59: DONNEES DE SUIVI A RECOLTER SUR UN ECHANTILLON DE PARCELLES | 74 |
| TABLEAU 60: DONNEES A RECOLTER POUVANT ETRE NEGLIGES SUITE A UNE ETUDE SUPPLEMENTAIRE | 74 |
| TABLEAU 62: POTENTIEL EN CREDITS CARBONE SELON LA METHODOLOGIE MDP AMS0007 | 75 |

ANNEXES

Annexe 1 : le Mécanisme de Développement Propre

Créé dans le cadre de la Convention Cadre des Nations-Unis sur les Changements Climatiques, le Mécanisme de Développement Propre est de loin le plus important standard de compensation carbone. Durant ces 10 ans d'existences il a permis de lever plus de 200 milliards de Dollars d'investissement majoritairement privé pour des projets d'atténuation des changements climatiques (CDC Climat, 2012b). Le MDP a évolué au fur et à mesure du temps en tenant compte des différentes critiques. Cette évolution a été facilitée par un cadre transparent permettant d'identifier les failles et de les corriger. Reste qu'après 10 ans, 93% de l'offre en URCE⁹ est concentrée entre la Chine, l'Inde, la Corée du Sud, le Brésil et le Mexique, tandis que les pays africains représentent moins de 2 % (CDC Climat, 2012a). Pour les crédits avec une livraison après 2012, la situation est radicalement différente, l'Afrique compte désormais pour 21% des transactions. Ce changement radical s'explique par la mise en œuvre de la phase III du Système Communautaire d'Echange de Quotas d'Emission qui limite l'utilisation des crédits CER issus du Mécanisme de Développement Propre aux Pays les Moins Avancés (Kossov, 2012).

Malgré des émissions de CO₂ proches des scénarios du GIEC les plus pessimistes (Peters & al., 2012), le prix des crédits URCE sur le marché au comptant est à un niveau historiquement bas : 0,15€ fin février 2013 (CDC Climat, 2013) et aucune source significative émanant du secteur privé ne semble pouvoir se mettre en place en dehors du marché de quotas Européen. Cela devrait durer jusqu'à la mise en place des marchés australien et éventuellement chinois vers 2015. Selon les scénarios de la CDC Climat, sans changement du côté de la demande, l'offre en crédits URCE devrait avoir couverte la demande d'ici à 2013-2014, le prix des crédits URCE devrait donc rester très faible voire nul compte tenu de l'inertie et du faible coût de suivi de bon nombres de projets industriels. La demande créée par le marché Australien sera insuffisante pour absorber l'offre sans l'émergence de nouveaux marchés ou la modification des règles du marché Européen (Bellassen & al., 2012).

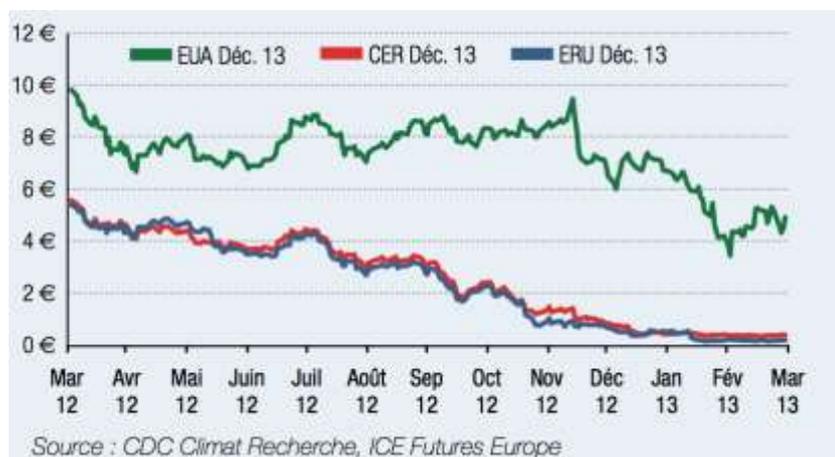


Figure 14: évolution du cours des crédits CER ; Source : CDC Climat (2013)

Le marché du Mécanisme de Développement Propre apparaît peu intéressant pour les porteurs de projet du réseau JatroREF. Le prix de marché actuel ne permet pas d'envisager de dégager des bénéfices. D'autant plus que les crédits temporaires générés par les projets de boisement/reboisement sont peu intéressants pour les acheteurs (Peters-Stanley & Hamilton, 2012b).

⁹ Unité Certifiée de Réduction des Emissions, nom français des crédits du Mécanisme de Développement Propre

Annexe 2 : les standards volontaires

Tout comme sur les marchés réglementés, les projets situés en Afrique ont une très forte croissance sur les marchés volontaires avec, en 2011, une croissance supérieure à 100% en volume et en valeur par rapport à 2010. Deux standards sont prédominants, Gold Standard, créé en 2003 par WWF avec 49% des transactions de crédits, qui garantit le respect de principes socio-environnementaux et Verified Carbon Standard créé en 2005 par the Climate Group, IETA et le Forum économique mondial avec 33% des transactions. Tout comme pour le marché réglementé, l'Europe tire fortement la demande avec 83% des acheteurs de crédits Africains (Peters-Stanley & Hamilton, 2012a).

Les standards volontaires peuvent être classés dans trois catégories :

- 1) Les standards de comptabilisation carbone ;
- 2) les standards de comptabilisation carbone garantissant de co-bénéfices socio-environnementaux ;
- 3) les labels de qualité.



Figure 15: cartographie des standards carbone ; Source : Simonet & al (2012)

A la différence des crédits issus du MDP dont la majorité des crédits sont vendus à un prix de marché, les crédits générés sur des standards volontaires sont majoritairement vendus de gré-à-gré à un prix variant en fonction de la nature du projet et du pouvoir de négociation du vendeur.

Annexe 3 : le modèle RothC

Le modèle RothC a originellement été développé à partir des expériences terrain de long-terme à Rothamsted, situé à 50km au nord de Londres au Royaume-Uni. Par la suite il a été étendu à d'autres régions climatiques.

Il contient quatre compartiments de carbone actifs (DPM, RPM, BIO et HUM) et un compartiment inactif (IOM) et utilise un pas de temps mensuel.

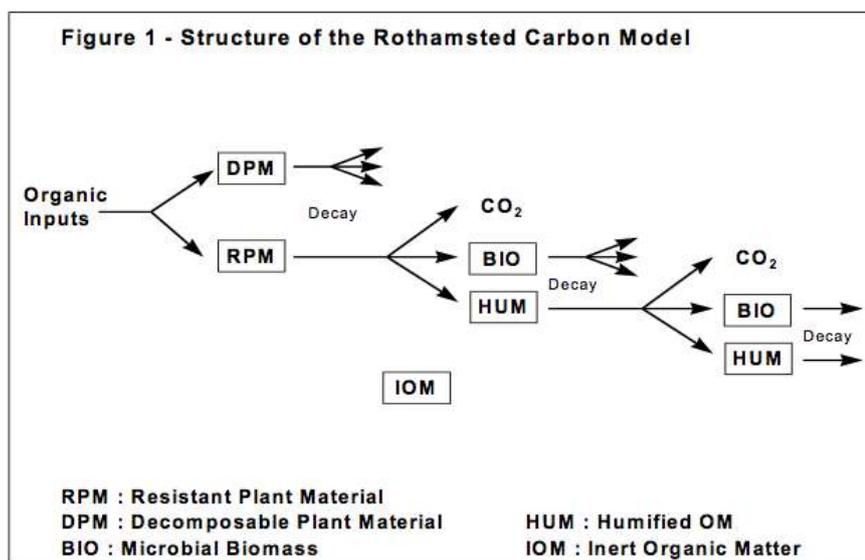


Figure 16: structure du modèle RothC ; Source : Coleman et Jenkinson (1996)

Les constantes de décompositions (en t^{-1}) sont de 10 pour DPM ; 0,3 pour RPM ; 0,66 pour BIO et 0,02 pour HUM.

Les données nécessaires pour faire tourner le modèle sont :

Tableau 5: données nécessaires au modèle RothC

| Donnée | Unité |
|--|----------------------|
| Précipitation mensuelle | Mm |
| Evapotranspiration potentielle | Mm |
| Température de l'air mensuelle | °C |
| Taux d'argile du sol | / |
| Décomposabilité de la matière organique entrante | / |
| Couverture végétale | Couvert ou découvert |
| Quantité de résidus de culture appliquée | tC/ha |
| Quantité de fumier appliquée | tC/ha |
| Profondeur de sol considérée | cm |

Le modèle peut être utilisé dans deux modes différents. Le mode « en avant » qui permet d'estimer la masse de carbone séquestré à partir des données listées ci-dessous et le mode « inverse » qui permet d'obtenir la quantité de matière organique nécessaire pour avoir un stock de carbone organique donné.

Annexe 4 : critères de sélection de l'étude de cas

Tableau 6: les critères de sélection de l'étude de cas pour les projets du réseau JatroREF

| Pays | Projet | Modèle paysan | Partenariats entre opérateurs de la transformation et producteurs | Potentiel en crédits carbone | | Base de données | Projet carbone en cours |
|--------------|-------------------|---------------|---|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| | | | | Surface | Valorisation des résidus de culture | | |
| Bénin | Alterre | Oui | Oui | 1 | Non | 2 (3 dans le futur) | Non |
| Bénin | Cirapip | Oui | Oui | 1 | Non | / | Non |
| Sénégal | ADG | Oui | Oui | 1 | Non | 1 (sauf 24 parcelles de recherche) | Non |
| Sénégal | Sopreef | Oui | Oui | 1 | Non | 3 | Non |
| Burkina Faso | Agritech | Mixte | Oui | 2 | / | / | / |
| Burkina Faso | Aprojer | Oui | Oui | 3 | Non | 3 | Non (contacts avec BE) |
| Burkina Faso | Belwet | Mixte | Oui | 3 | Sur certaines parcelles en propre | 1 | Non |
| Burkina Faso | FasoBiocarburant | Oui | Oui | 2 | Non | 3 | Oui |
| Burkina Faso | Genèse | Oui | Oui | 3 | Oui (une partie seulement) | 3 | Non |
| Burkina Faso | Impulsion | Oui | Oui | 1 | Non (expérience) | 2 (3 dans le futur) | Non |
| Mali | Alterre | Oui | Oui | 2 | Non | 3 | Non |
| Mali | JMI | Oui | Oui | 3 | Oui | 3 | Oui |
| Mali | IC Sahel | / | / | / | / | / | / |
| Mali | MaliBiocarburant | Oui | Oui | 3 | Non | 3 | Oui |
| Mali | Mali Folke Center | Oui | Oui | 1 | / | / | Non |
| Mali | Teriya Bugu | Mixte | Oui | 1 | Oui | / | Non |

La notation est effectuée de la façon suivante :

A. Ne pas avoir de projets carbone en cours

B. Potentiel en crédits carbone

a. Surface

- 1) Surface inférieure à 500 ha
- 2) Surface comprise entre 500 ha et 3000 ha
- 3) Surface supérieure à 3000 ha

b. Valorisation des résidus de Jatropha par l'activité du projet (tourteaux, coques...)

C. Informations clés et base de données disponibles

- 1) Peu ou pas de données disponibles sur les plantations
- 2) Données disponibles sur chaque plantation (superficie, type de plantation)
- 3) Localisation GPS en plus des données précédentes

D. Volonté d'implication du porteur de projet

Annexe 6 : les conditions d'éligibilité

Les conditions d'éligibilités à la méthodologie VCS SALM sont les suivantes.

- **La zone était soit une terre agricole, soit une prairie avant la mise en place du projet.**

Dans la méthodologie les terres agricoles sont définies comme les terres arables, labourées ou cultivées pouvant abriter un système agro-forestier, mais pas de « forêt » au sens des définitions nationales de forêt (voir plus bas). Selon la même logique, les prairies sont définies comme des surfaces herbacées pouvant abriter des arbres, mais pas de « forêt » au sens des définitions nationales de forêt.

Tableau 7: les définitions nationales de forêts selon les déclarations des autorités nationales désignées à UNFCCC

| | Surface minimale | Couverture boisée minimale | Hauteur minimale à maturité |
|---------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Burkina Faso | 0,05 ha | 10 % | 2m |
| Mali | 1 ha | 30 % | 2m |
| Sénégal | 0,5 ha | 30 % | 2m |
| Bénin | | Non publiées | |

- **Le projet ne se situe pas sur des zones humides.**

Les zones humides sont les zones inondées ou saturées d'eau pendant une partie de l'année à une fréquence telle qu'elle entraîne le développement d'organismes spécifiques adaptés à des milieux peu aérés et/ou saturés d'eau.

- **La terre était dégradée et aurait continué à être dégradée ou à se dégrader sans la mise en place du projet.**

Les indicateurs de dégradation peuvent être variés selon les cas, baisse de la couverture végétale, baisse de la durée des jachères, baisse des rendements, érosions, salinisation etc. La dégradation doit être présente avant la mise en place du projet et ne devrait pas être résolue si le projet n'avait pas lieu. La plantation de Jatropha, elle, contribuera à diminuer cette dégradation.

- **La superficie des terres agricoles est constante ou en augmentation dans la région.**

La superficie de forêt (selon définitions nationales) est constante ou en diminution dans la région.

- **Il doit il y avoir des études validant l'utilisation du modèle RothC pour la zone.**

Le modèle RothC est un modèle simulant les dynamiques du carbone organique des sols en fonction de données pédoclimatiques, du couvert végétal, de l'apport en matière organique au sol et de sa résistance à la décomposition. L'équipe du pôle finance carbone s'assurera que ce critère est bien validé pour la zone du projet.

Annexe 7 : les ratios résidus/produits récoltés

Tableau 8: les ratios résidus/produits récoltés élaborés par Williams pour le GIEC

| Culture | Matière sèche | Pente | Ordonnée à l'origine | Ratio racine/tige |
|---------------|---------------|-------|----------------------|-------------------|
| Mais | 0,87 | 1,03 | 0,61 | 0,22 |
| Millet | 0,90 | 1,43 | 0,14 | 0,00 |
| Niébé | 0,91 | 1,13 | 0,85 | 0,19 |
| Pois de terre | 0,91 | 1,13 | 0,85 | 0,19 |
| Sésame | 0,88 | 1,09 | 0,88 | 0,22 |
| Soja | 0,91 | 0,93 | 1,35 | 0,19 |
| Sorgho | 0,89 | 0,88 | 1,33 | 0,00 |

Tableau 9: les ratios résidus/produits récoltés développés pour l'étude à partir d'une revue de la littérature

| Culture | Matière sèche | Pente | Ordonnée à l'origine | Ratio racine/tige | Références |
|---------------------------|---------------|-------------|----------------------|-------------------|---|
| Arachide (N=49) | 0,90 | 2,85 | 0,00 | 0,00 | (Collinson & al., 1999, Collinson & al., 2000, Ishag, 2000, Waddington & Karigwindi, 2001) |
| Coton | 0,90 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | (Yevich & Logan, 2002) |
| Mais (N=16) | 0,90 | 1,42 | 0,00 | 0,22 | (Vogel, 1993, Waddington & Karigwindi, 2001) |
| Millet (N=150) | 0,91 | 4,86 | 0,00 | 0,00 | (Mcdonagh & Hillyer, 2003, Michels & Bielders, 2006, Michels & al., 1998, Reddy & al., 1992, Rouw & Winkel, 1998, Subbarao & al., 2000) |
| Niébé (N=34) | 0,91 | 1,64 | 0,00 | 0,19 | (Awonaike & al., 1990, Mcdonagh & Hillyer, 2003, Ntare & Williams, 1993, Thiaw & al., 1993) |
| Pois de terre | 0,91 | 1,13 | 0,85 | 0,19 | |
| Sésame | 0,88 | 1,09 | 0,88 | 0,22 | |
| Soja | 0,91 | 0,93 | 1,35 | 0,19 | |
| Sorgho (N=6) | 0,89 | 3,62 | 0,00 | 0,00 | (Chiroma & al., 2006) |

En gras, valeur développées dans le cadre de l'étude à travers une revue de la littérature

Annexe 8 : les résultats d'analyses de tourteaux et coques de Jatropha

Tableau 10: les résultats d'analyses chimiques des coques et tourteaux récoltés chez Genèse

| | Masse humide | Masse sec | % MS | % de carbone (analyse 1) | % de carbone (analyse 2) |
|------------------|--------------|-----------|-------|-----------------------------|-----------------------------|
| Tourteaux | 342,21 | 327,61 | 95,73 | 53,08 | 52,92 |
| Coques | 54,32 | 9,13 | 16,81 | 49,70 | 49,69 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Documentation carbone- PoA-DD, CPA-DD | 2 250 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Rédaction rapport de suivi | - | 5 250 | - | 3 500 | - | - | - | 3 500 | - | - | - | 3 500 | - | - | - | - | 3 500 |
| Validation + vérification | - | 33 250 | - | 19 000 | - | - | - | 19 000 | - | - | - | 19 000 | - | - | - | - | 19 000 |
| Frais de déplacement DOE | - | 5 000 | - | 2 500 | - | - | - | 2 500 | - | - | - | 2 500 | - | - | - | - | 2 500 |
| Coordination DOE et suivi | - | 7 000 | - | 5 250 | - | - | - | 5 250 | - | - | - | 5 250 | - | - | - | - | 5 250 |
| Coordination DOE et suivi | - | 4 500 | - | 2 250 | - | - | - | 2 250 | - | - | - | 2 250 | - | - | - | - | 2 250 |
| Frais de déplacement audits | - | 3 000 | - | 1 500 | - | - | - | 1 500 | - | - | - | 1 500 | - | - | - | - | 1 500 |
| Assistance enquêtes terrain | - | 1 050 | - | 3 500 | - | - | - | 3 500 | - | - | - | 3 500 | - | - | - | - | 3 500 |
| Assistance enquêtes terrain | - | 450 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Traitement enquêtes terrain | - | 1 200 | - | 1 200 | - | - | - | 1 200 | - | - | - | 1 200 | - | - | - | - | 1 200 |
| Logistique et transport inter-région | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 | 2 000 |
| Frais d'émission des crédits | <i>Variable selon paramètres</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Frais de la plateforme de vente | <i>Variable selon paramètres</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |

Annexe 10 : le questionnaire de suivi

QUESTIONNAIRE SALM/JATROREF

Nom de l'interviewer : _____ Date : ____/____/____

Nom du responsable de la plantation de Jatropha : _____

Cluster ID : _____

Localisation GPS : _____ / _____

District : _____

Village : _____

Groupe : _____

1. L'USAGE DES TERRES

1.1. Quel est le statut du foncier ?

- Inconnu Droit d'usage
 Location Propriété de l'exploitant

Qui possède le titre foncier ? _____

Qui a donné l'autorisation de planter du Jatropha ? _____

Il faudra démontrer que le droit sur les terres peut être maintenu pendant toute la durée du projet.

1.2. Existe-t-il des conflits sur les terres aux alentours ?

- Non
 Oui, si oui, préciser la nature du conflit : _____

1.3. Surface totale de l'exploitation : _____ ha

Observations :

2. LES CULTURES

2.1. A quelles cultures réservez-vous les sols les plus riches ?

2.2. Depuis les 20 dernières années, comment on évolués :

2.2.1. Les rendements

- Hausse
 Baisse
 Ne sait pas

2.2.2. La durée des jachères

- Hausse
 Baisse
 Ne sait pas

2.3. Que faites-vous quand la fertilité des sols baisse ?

2.4. Si on vous proposait d'utiliser les tourteaux de Jatropha à un prix de _____, engageriez-vous d'en appliquer sur vos cultures ?

- Non, pourquoi ? _____
- Oui, sur quelles cultures ? _____

Observations :

2.5. Quels sont les usages des terres ?

2.5.1. Avant le Jatropha

| N° | Usage | Superficie | Fertilisation | Usage des résidus | Production | Pâturage (durée) | Parcage de bétail |
|----|-------|------------|---------------|-------------------|------------|------------------|-------------------|
| B1 | | | | | | | |
| B2 | | | | | | | |
| B3 | | | | | | | |
| B4 | | | | | | | |
| B5 | | | | | | | |
| B6 | | | | | | | |
| B7 | | | | | | | |
| B8 | | | | | | | |
| B9 | | | | | | | |

2.5.2. Après la plantation du Jatropha

2.5.2.1. Où avez-vous planté le Jatropha ?

2.5.2.2. Quel était l'usage de la terre avant le Jatropha ?

Valider le N° de la parcelle, l'usage et la production de résidus

2.5.2.3. Avec le Jatropha avez-vous plus ou moins de matière pour fertiliser vos champs ?

| N° | Usage | Superficie | Fertilisation | Résidus | Production | Pâturage (durée) | Parcage de bétail |
|----|-------|------------|---------------|---------|------------|------------------|-------------------|
| P1 | | | | | | | |
| P2 | | | | | | | |
| P3 | | | | | | | |
| P4 | | | | | | | |
| P5 | | | | | | | |
| P6 | | | | | | | |
| P7 | | | | | | | |
| P8 | | | | | | | |
| P9 | | | | | | | |

Checklist :

- 1) Lister toutes les cultures
 - 2) Comprendre quelles parcelles sont fertilisées avec un transfert matière organique (composte/parcage du bétail)
 - 3) Comprendre l'origine de la matière organique pour la fabrication de composte et les lieux de pâturage
 - 4) Noter la production de ces parcelles
 - 5) Etablir sur quelle terre a été planté le Jatropha
 - 6) Déterminer la culture remplacée
 - 7) Clarifier si il y a eu déplacement de cette culture. Si oui, quel était l'usage de la terre ? A t-elle été cultivée précédemment ? Il y a combien de temps ?
 - 8) Déterminer l'usage des résidus de Jatropha, estimer delta sur les flux de MO
- Bien vérifier que la somme des usages correspond bien à la surface totale.

Observations :

3. LE JATROPHA

3.1. Depuis combien de temps cultivez-vous du Jatropha ?

3.2. Pourquoi avez-vous décidé de planter du Jatropha ?

3.3. Quel est le bilan de ce choix ?

Observations :

3.4. A quels problèmes avez-vous été confrontés ?

3.5. Avez-vous déjà connu des problèmes de maladies, champignons, attaques d'insectes ?

Non

Oui, quel pourcentage a été touché ? _____

3.6. Comment les avez-vous résolus ?

3.7. Pensez-vous augmenter la part du Jatropha à l'avenir ?

Non, pourquoi ? _____

Oui, si oui, quelle superficie pensez-vous planter: _____

3.8. Quel influence cette nouvelle a t'il eu sur votre production alimentaire ?

3.9. Gagnez-vous plus ou moins d'argent depuis que vous plantez du Jatropha ?

Observations :

3.10. A quel prix Jatropha vendez vous le kg de graines ?

3.11. A quel prix de la graine le Jatropha deviendrait une culture intéressante pour vous ?

3.12. Quelle est l'utilisation finale de l'huile produite ?

4.9. Ces dernières années, comment avez-vous évolué :

4.9.1. Le temps nécessaire pour aller chercher le bois ?

- Hausse
- Baisse
- Ne sait pas

4.9.2. Le prix du bois/charbon ?

- Hausse
- Baisse
- Ne sait pas

4.10. L'accès à l'énergie pour la transformation

- Aucun
- Electricité, origine : _____
- Plate-forme multifonctionnelle lieu: _____
 - o Utilisation : _____
 - o Carburant utilisé : _____

Observations :

5. AUTRE

5.1. De combien de ces événements extrêmes ayant entraîné une mauvaise récolte pouvez-vous vous souvenir:

- Feu : _____
- Sécheresse : _____
- Autre événement météorologique extrême : _____
- Attaques d'insectes : _____
- Maladies : _____

5.2. Quelles actions sont mises en place pour diminuer ces risques (désherbage...)

5.3. Par rapport à vos souvenirs passés y-a-t'il eu des changements dans les périodes des pluies?

5.4. Par rapport à vos souvenirs passés y-a-t'il eu des changements dans l'intensité des pluies?

5.5. Prendre photos (si possible) :

- Parcelle
- Précédents culturaux au Jatropha
- Indicateurs de dégradation des sols
- Horizons
- Indicateurs de maladie

6. COMMENTAIRES

INVENTAIRE PARCELLE JATROPHA

IDENTIFIANT DE LA PARCELLE : _____

1. PARCELLE

Superficie : _____ GPS : _____ / _____
 Pente : _____ Distance du village : _____
 Couverture boisée : _____

| |  |  |  |  |  |  |  | Profondeur | Hydromorphie | Présence animaux |
|-------------|---|---|---|---|---|--|---|------------|--------------|------------------|
| Horizon n°1 | | | | | | | | | | |
| Horizon n°2 | | | | | | | | | | |
| Horizon n°3 | | | | | | | | | | |

| Animaux | Nombre | Durée de pâturage |
|---------|--------|-------------------|
| | | |
| | | |

2. CULTURES

| Baseline/Projet | | | |
|--|-------|--|-------|--|-------|--|-------|--|-------|--|-------|--|--|
| Nom | | | |
| Année | | Année | | Année | | Année | | Année | | Année | | | |
| PLANT | RECOL | PLANT | RECOL | PLANT | PLANT | RECOL | RECOL | PLANT | RECOL | PLANT | RECOL | | |
| Kg | | Kg | | Kg | | Kg | | Kg | | Kg | | | |
| <u>Résidus</u> <input type="checkbox"/> Paillis <input type="checkbox"/> Enfouissement <input type="checkbox"/> Composte <input type="checkbox"/> Fumier > champ <input type="checkbox"/> Fumier > composte <input type="checkbox"/> Brulé <input type="checkbox"/> Autre | | <u>Résidus</u> <input type="checkbox"/> Paillis <input type="checkbox"/> Enfouissement <input type="checkbox"/> Composte <input type="checkbox"/> Fumier > champ <input type="checkbox"/> Fumier > composte <input type="checkbox"/> Brulé <input type="checkbox"/> Autre | | <u>Résidus</u> <input type="checkbox"/> Paillis <input type="checkbox"/> Enfouissement <input type="checkbox"/> Composte <input type="checkbox"/> Fumier > champ <input type="checkbox"/> Fumier > composte <input type="checkbox"/> Brulé <input type="checkbox"/> Autre | | <u>Résidus</u> <input type="checkbox"/> Paillis <input type="checkbox"/> Enfouissement <input type="checkbox"/> Composte <input type="checkbox"/> Fumier > champ <input type="checkbox"/> Fumier > composte <input type="checkbox"/> Brulé <input type="checkbox"/> Autre | | <u>Résidus</u> <input type="checkbox"/> Paillis <input type="checkbox"/> Enfouissement <input type="checkbox"/> Composte <input type="checkbox"/> Fumier > champ <input type="checkbox"/> Fumier > composte <input type="checkbox"/> Brulé <input type="checkbox"/> Autre | | <u>Résidus</u> <input type="checkbox"/> Paillis <input type="checkbox"/> Enfouissement <input type="checkbox"/> Composte <input type="checkbox"/> Fumier > champ <input type="checkbox"/> Fumier > composte <input type="checkbox"/> Brulé <input type="checkbox"/> Autre | | <u>Résidus</u> <input type="checkbox"/> Paillis <input type="checkbox"/> Enfouissement <input type="checkbox"/> Composte <input type="checkbox"/> Fumier > champ <input type="checkbox"/> Fumier > composte <input type="checkbox"/> Brulé <input type="checkbox"/> Autre | |
| <u>Préparation du sol</u> <input type="checkbox"/> Brulis <input type="checkbox"/> Labour <input type="checkbox"/> SCV | | <u>Préparation du sol</u> <input type="checkbox"/> Brulis <input type="checkbox"/> Labour <input type="checkbox"/> SCV | | <u>Préparation du sol</u> <input type="checkbox"/> Brulis <input type="checkbox"/> Labour <input type="checkbox"/> SCV | | <u>Préparation du sol</u> <input type="checkbox"/> Brulis <input type="checkbox"/> Labour <input type="checkbox"/> SCV | | <u>Préparation du sol</u> <input type="checkbox"/> Brulis <input type="checkbox"/> Labour <input type="checkbox"/> SCV | | <u>Préparation du sol</u> <input type="checkbox"/> Brulis <input type="checkbox"/> Labour <input type="checkbox"/> SCV | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| <u>Fertilisants</u> <input type="checkbox"/> Minéral Nom: _____ Qté: _____ <input type="checkbox"/> Urée Qté: _____ <input type="checkbox"/> Fumier Qté: _____ <input type="checkbox"/> Composte Qté: _____ <input type="checkbox"/> Tourteaux Qté: _____ <input type="checkbox"/> Autre _____ | <u>Fertilisants</u> <input type="checkbox"/> Minéral Nom: _____ Qté: _____ <input type="checkbox"/> Urée Qté: _____ <input type="checkbox"/> Fumier Qté: _____ <input type="checkbox"/> Composte Qté: _____ <input type="checkbox"/> Tourteaux Qté: _____ <input type="checkbox"/> Autre _____ | <u>Fertilisants</u> <input type="checkbox"/> Minéral Nom: _____ Qté: _____ <input type="checkbox"/> Urée Qté: _____ <input type="checkbox"/> Fumier Qté: _____ <input type="checkbox"/> Composte Qté: _____ <input type="checkbox"/> Tourteaux Qté: _____ <input type="checkbox"/> Autre _____ | <u>Fertilisants</u> <input type="checkbox"/> Minéral Nom: _____ Qté: _____ <input type="checkbox"/> Urée Qté: _____ <input type="checkbox"/> Fumier Qté: _____ <input type="checkbox"/> Composte Qté: _____ <input type="checkbox"/> Tourteaux Qté: _____ <input type="checkbox"/> Autre _____ | <u>Fertilisants</u> <input type="checkbox"/> Minéral Nom: _____ Qté: _____ <input type="checkbox"/> Urée Qté: _____ <input type="checkbox"/> Fumier Qté: _____ <input type="checkbox"/> Composte Qté: _____ <input type="checkbox"/> Tourteaux Qté: _____ <input type="checkbox"/> Autre _____ | <u>Fertilisants</u> <input type="checkbox"/> Minéral Nom: _____ Qté: _____ <input type="checkbox"/> Urée Qté: _____ <input type="checkbox"/> Fumier Qté: _____ <input type="checkbox"/> Composte Qté: _____ <input type="checkbox"/> Tourteaux Qté: _____ <input type="checkbox"/> Autre _____ |
| <u>Irrigation</u> <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Oui Source: _____ |

COMMENTAIRES

3. LE JATROPHA

Ecartement ou distance entre les plants: _____ Type de placette(s): _____

Ecartement mesuré sur 16 plants :

| N° | Diam. |
|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|
| 1 | | 4 | | 7 | | 10 | | 13 | |
| 2 | | 5 | | 8 | | 11 | | 14 | |
| 3 | | 6 | | 9 | | 12 | | 15 | |

Type de plantation :

Haies simples

Culture associée

Haies doubles

Plein champ

| N° | Diam. |
|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|
| 1 | | 16 | | 31 | | 46 | | 61 | |
| 2 | | 17 | | 32 | | 47 | | 62 | |
| 3 | | 18 | | 33 | | 48 | | 63 | |
| 4 | | 19 | | 34 | | 49 | | 64 | |
| 5 | | 20 | | 35 | | 50 | | 65 | |
| 6 | | 21 | | 36 | | 51 | | 66 | |
| 7 | | 22 | | 37 | | 52 | | 67 | |
| 8 | | 23 | | 38 | | 53 | | 68 | |
| 9 | | 24 | | 39 | | 54 | | 69 | |
| 10 | | 25 | | 40 | | 55 | | 70 | |
| 11 | | 26 | | 41 | | 56 | | 71 | |
| 12 | | 27 | | 42 | | 57 | | 72 | |
| 13 | | 28 | | 43 | | 58 | | 73 | |
| 14 | | 29 | | 44 | | 59 | | 74 | |
| 15 | | 30 | | 45 | | 60 | | 75 | |

COMMENTAIRES

Annexe 11 : analyse du couvert boisé dans les zones d'interventions 1, 5, 6 et 13 de Genèse

Tableau 12: taux de couverture boisée pour les 242 parcelles géoréférencées de Genèse – données MODIS/LandSat

| | Zone 1 | Zone 5 | Zone 6 | Zone 13 | Total |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|
| 0% | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1% | 6 | 6 | 2 | 2 | 16 |
| 2% | 83 | 20 | 6 | 9 | 118 |
| 3% | 40 | 8 | 6 | 10 | 64 |
| 4% | 17 | 2 | 2 | 2 | 23 |
| 5% | 9 | 0 | 0 | 1 | 10 |
| 6% | 3 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| 7% | 2 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| 8% | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 9% | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 10% | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| > 10% | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Moyenne | 2,89% | 2,17% | 2,76% | 2,76% | 2,76% |

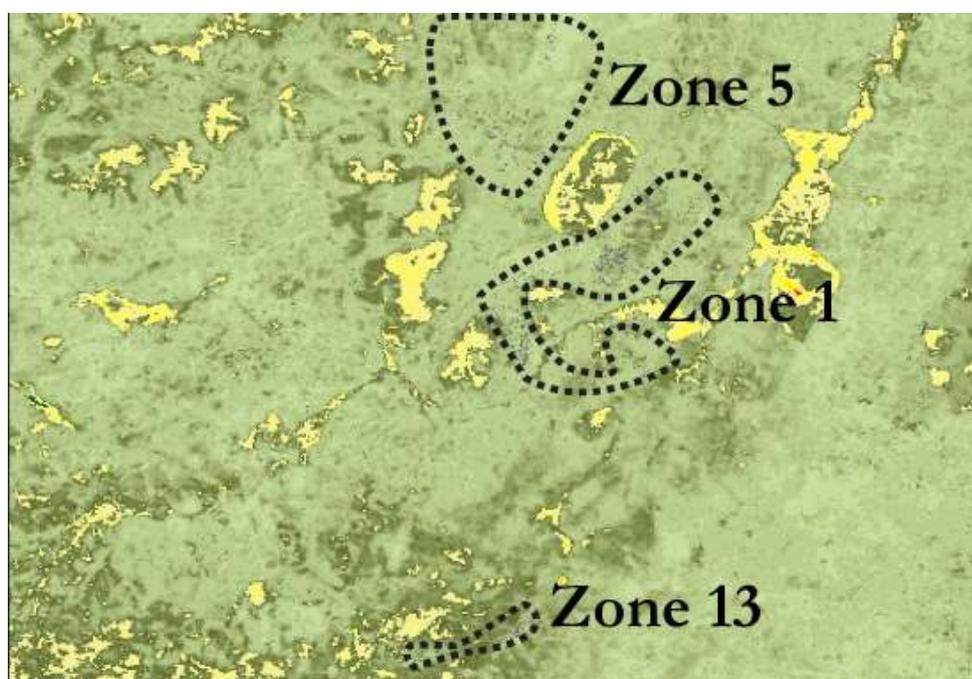


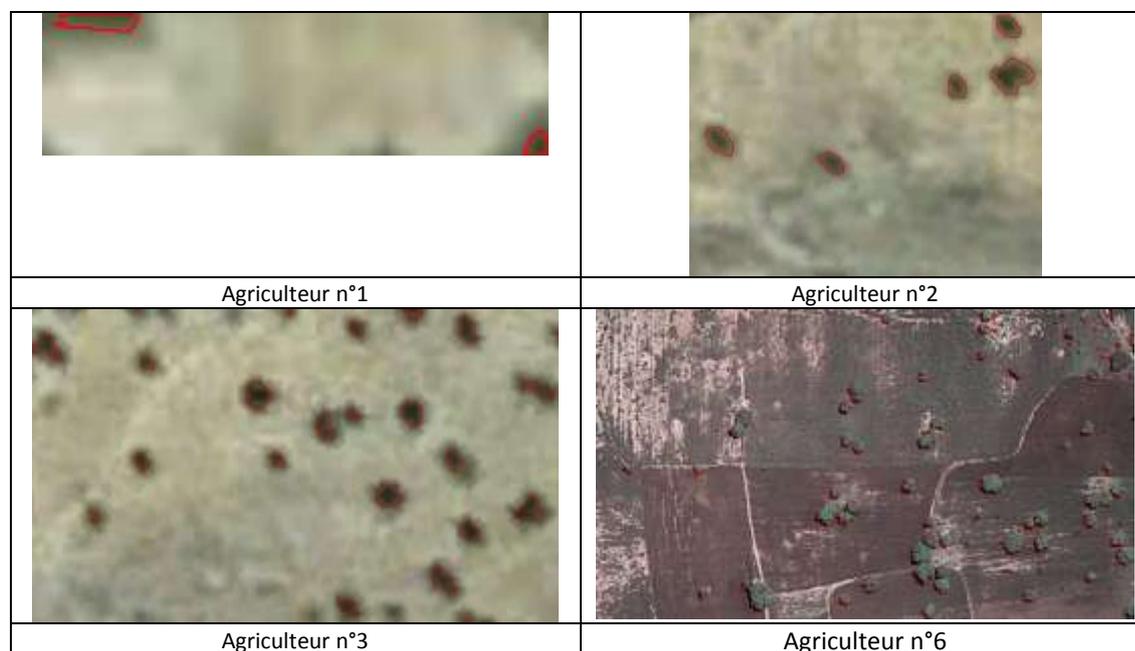
Figure 17: cartographie du couvert boisé dans la zone d'intervention de Genèse

En vert les surfaces dont le couvert est inférieur à 10%. La zone 6 étant plus éloignée, elle n'est pas affichée dans la carte ci-dessus.

Annexe 12 : éligibilité des plantations vis à vis de la couverture boisée

Tableau 13: étude de la couverture boisée sur les parcelles visitées

| Nom | Evaluation terrain (en %) | Evaluation imagerie satellite (en %) |
|------------------|------------------------------|---|
| Agriculteur n°1 | 0 | 1,96 |
| Agriculteur n°2 | 0 | 2,78 |
| Agriculteur n°3 | 0 | 3,25 |
| Agriculteur n°4 | 12 | / |
| Agriculteur n°5 | 0 | / |
| Agriculteur n°6 | 7 | 4,15 |
| Agriculteur n°7 | 5 | 4,29 |
| Agriculteur n°8 | 2 | 5,84 |
| Agriculteur n°9 | 8 | 9,03 |
| Agriculteur n°10 | 8 | 8,89 |
| Agriculteur n°11 | 7 | 8,32 |
| Agriculteur n°12 | 9 | 7,75 |
| Moyenne | 4,83 | 5,63 |



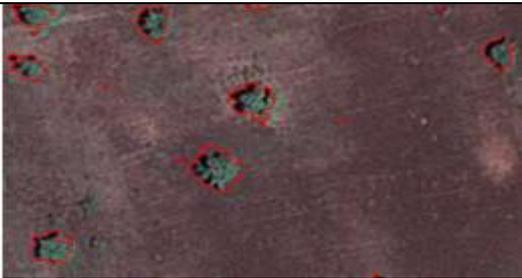
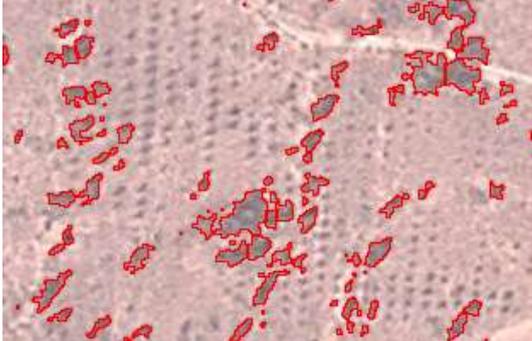
| | |
|---|--|
|  |  |
| Agriculateur n°7 | Agriculateur n°8 |
|  |  |
| Agriculateur n°9 | Agriculateur n°10 |
|  |  |
| Agriculateur n°11 | Agriculateur n°12 |

Figure 18: analyse de la couverture boisée sur ImageJ à partir de photos satellites

Annexe 13 : dégradation des terres

De manière générique, d'après les lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (2006), la mise en culture d'une terre entraîne une perte de 42 % du stock de carbone en climat tropical sec et de 52 % en climat tropical humide. Pour maintenir le niveau de carbone il est nécessaire de mettre en place des systèmes incluant des cultures à forte production de résidus associées à un apport en azote (fertilisation ou association avec des légumineuses) et des pratiques de gestions permettant un apport maximal en matière organique (IPCC, 2006). Malgré la présence de karité et d'anacardiés, les terres sont fortement sujettes à l'érosion qui est le principal facteur de dégradation des sols dans la zone (Batjes, 2001). Selon le projet du PNUE GLASOD (*Global Assessment of Human-induced Soil Degradation*), la majorité des projets du réseau JatroREF se trouvent sur des terres moyennement dégradées par l'érosion hydrique, comme présenté dans la carte ci-dessous.

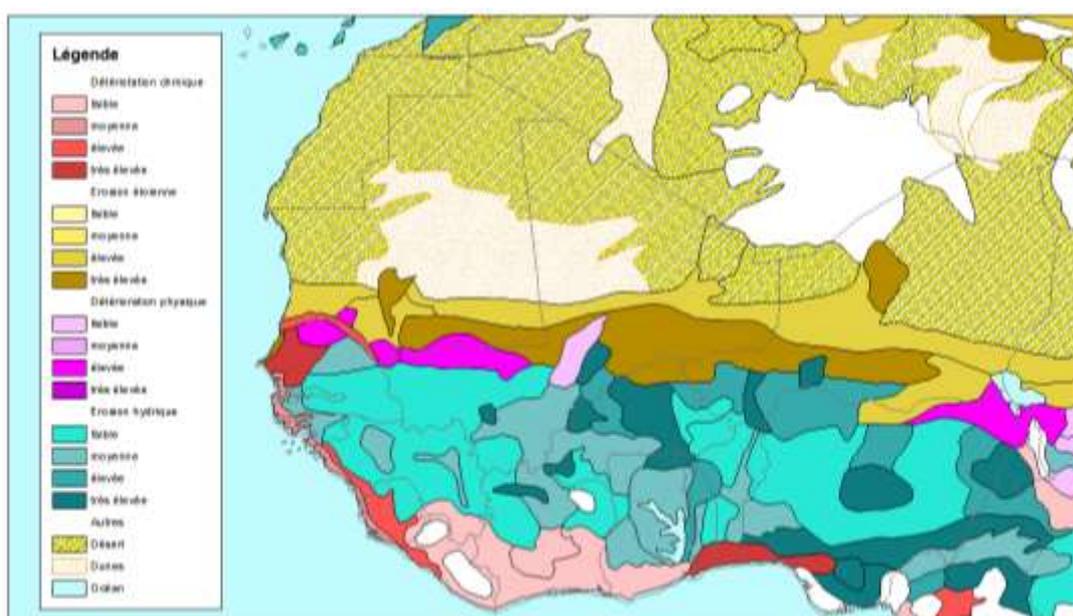


Figure 19: dégradations des terres selon GLASOD

Parmi les fermiers interrogés dans la zone d'action de Genèse, 55,6% (5/9) affirment que les rendements sont en baisse. Dans la zone d'action d'ALTERRE Bénin, 66 % (4/6) des fermiers affirment que les rendements sont en baisse.

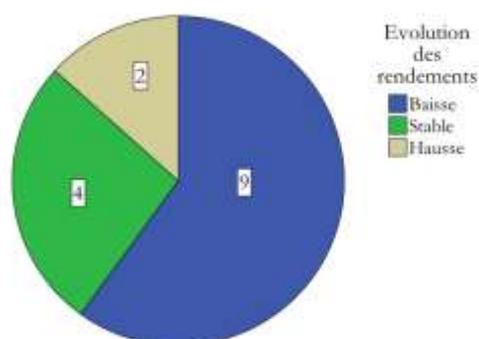


Figure 20: évolution des rendements parmi les fermiers interrogés dans les zones d'action de ALTERRE et Genèse

Les pratiques de recyclage de la matière organique sont variables selon les régions. Blanchard estime par exemple que pour le sud du Mali, « *les pratiques de gestion de la fertilité des sols sont performantes pour le recyclage du carbone contenu dans les biomasses dans les petites exploitations aux pratiques conventionnelles [...] grâce à la production de compost à la concession et de fumier sous les hangars* » (Blanchard, 2010). Dans la zone d'intervention du projet ALTERRE-Bénin à Bohicon, il a été observé des pratiques d'enfouissement des résidus de culture sur l'ensemble des parcelles. Au Burkina Faso dans la zone d'intervention de Genèse les pratiques de compostage semblent également très répandues avec 78 % (7/9) des fermiers qui affirment mettre en œuvre cette pratique. Cette pratique semble fortement varier selon les zones, des entretiens par groupe à Solenzo seul 35 % (7/20) des fermiers affirmaient faire du compost.

Annexe 14 : l'additionnalité de la finance carbone pour les projets du réseau

Plusieurs projets ont étudié le potentiel de co-financement par la finance carbone à leurs débuts. Les projets Aprojer et Genèse ont par exemple été en contact avec des bureaux d'études pour mener des études de pré-faisabilité sur la finance carbone et un PIN¹⁰ a même été soumis à l'Autorité Nationale Désignée pour le projet ALTERRE Bénin. De plus, 3 demandes de financements intégrant un volet finance carbone ont été déposées en 2009 au *Global Environmental Facility* pour le Burkina Faso, le Mali et le Sénégal (GEF, 2010). Ces différents éléments montrent donc que la finance carbone a bien été considérée par l'ensemble des projets étudiés.

Il existe de nombreuses alternatives plus rentables que jatropha pour les fermiers et pour les porteurs de projet. Parmi les paysans ayant planté du jatropha dans l'objectif de vendre des graines à l'entreprise Genèse, 60 % affirment que le prix est trop bas et 20 % ont abandonné la culture. Au niveau des projets une tendance à la diversification est observée, tournesol pour JMI, sorgho sucré pour MaliBiocarburant, anacarde pour Genèse etc. Cette diversification indique que le jatropha n'est pas une activité rentable pour les porteurs de projet. Compte tenu de la nature sensible des données financières, il n'a pas été possible d'étudier en détail la rentabilité des entreprises mais tout porte à croire que la production d'huile de jatropha n'est pas rentable en l'état.

Parallèlement, une étude comparative des projets jatropha montre que certains d'entre eux ont bénéficié de la finance carbone pour soutenir leurs activités. L'entreprise Jatropha Mali Initiative a par exemple vendu 600 000 tCO₂ de crédit « forward »¹¹ à l'entreprise pharmaceutique suisse Novartis (Eco-Carbone, 2012a, Eco-Carbone, 2012b) et l'entreprise MaliBiocarburant a vendu des crédits carbone non certifiés par un standard reconnu à l'entreprise Kia Motors (MaliBiocarburant, 2012).

En suivant le test d'additionnalité du Comité Exécutif du MDP de UNFCCC (2012c) nous pouvons donc montrer que la finance carbone est bien additionnelle pour les projets sélectionnés.

Les premières plantations des projets de JatroREF datent de 2008 mais les activités effectives de suivi/évaluation datent de 2009. Selon le standard VCS la date de début du projet correspond au début des activités amenant la génération de réductions d'émissions et de séquestration de gaz à effet de serre parmi lesquelles « le semis, la plantation, le changement des pratiques agricoles ou forestières [...] ou la mise en place de plan de gestion ou de protection » (Verified Carbon Standard, 2012). En considérant que ces activités débutent lors de la mise à disposition de graines de jatropha avec un support technique, l'année 2009 peut être considérée comme date de début du projet. Le standard VCS exige que les projets AFOLU complètent la validation 5 ans après le début du projet soit en 2014.

¹⁰ *Project Idea Note* : document de synthèse d'un 10ème de page présentant le projet

¹¹ Le terme « forward » indique que les crédits sont vendus avant d'être émis.

Annexe 15 : l'évolution des superficies agricoles et forestières

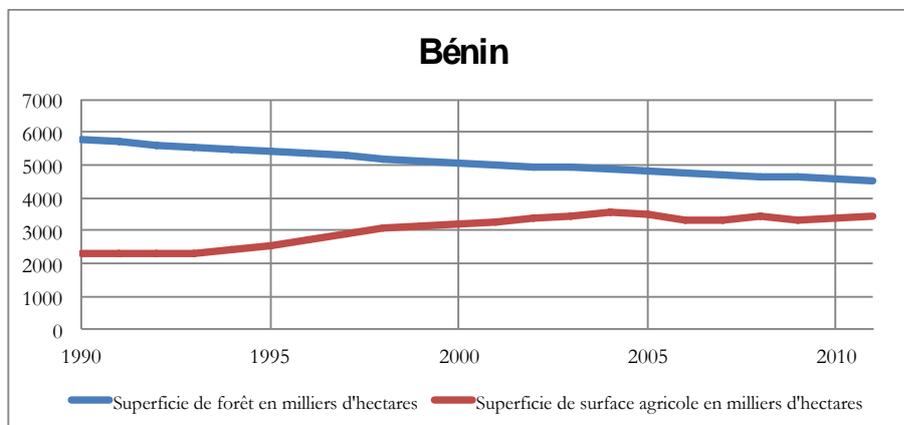


Figure 21 : évolution des superficies agricoles et forestières pour le Bénin (données FAO)

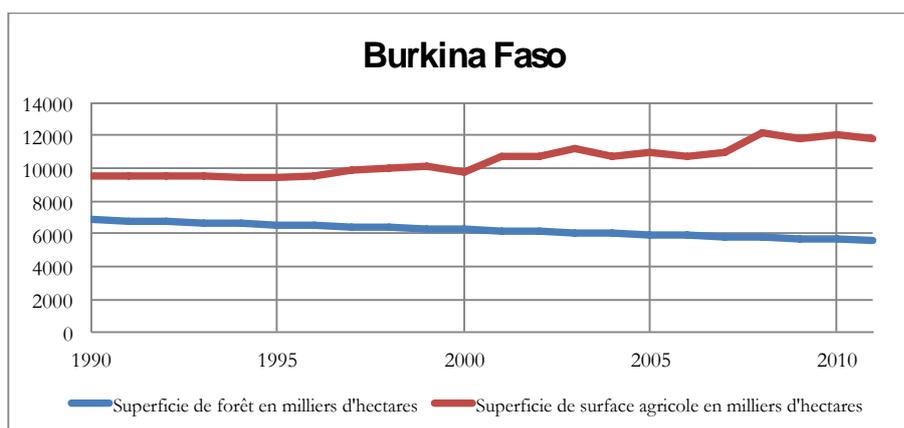


Figure 22 : évolution des superficies agricoles et forestières pour le Burkina Faso (données FAO)

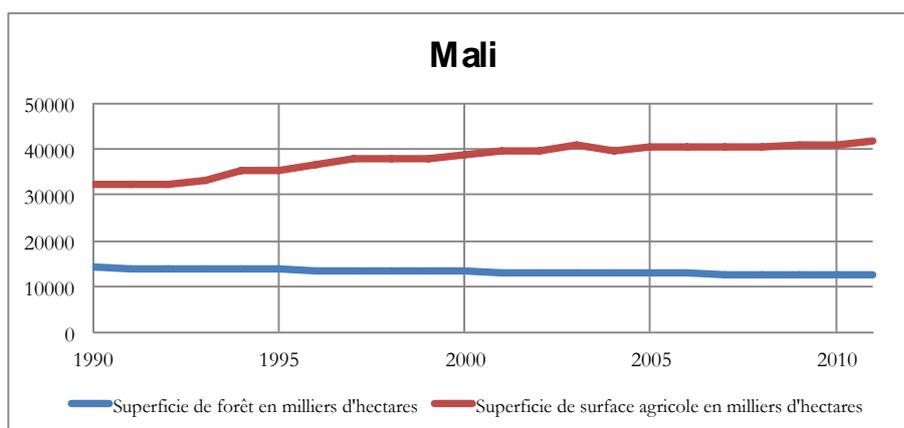


Figure 23 : évolution des superficies agricoles et forestières pour le Mali (données FAO)

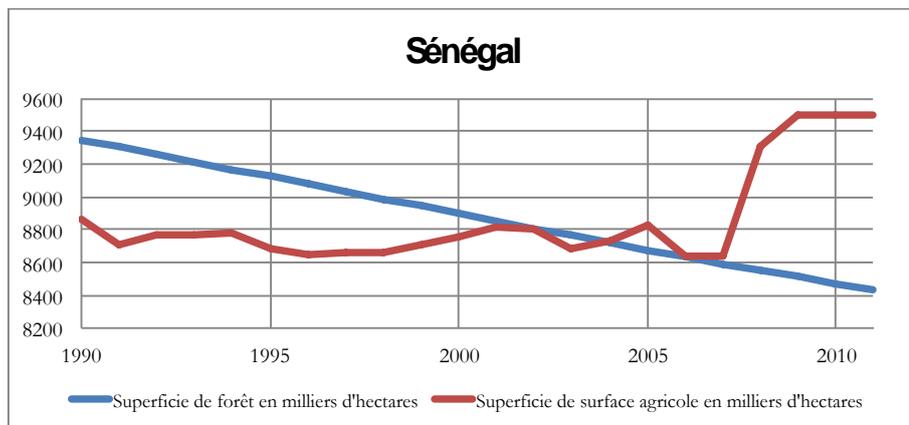


Figure 24: évolution des superficies agricoles et forestières pour le Sénégal (données FAO)

Annexe 16 : étude de corrélation de la modélisation avec les prélèvements terrain

Tableau 14: données statistiques de prédiction des résultats mesurés

| Jeux de paramètres | R | R ² | REQM |
|--------------------|-------|----------------|-------|
| P1 | 0,773 | 0,597 | 2,119 |
| P2 | 0,745 | 0,555 | 2,226 |
| P3 | 0,655 | 0,429 | 2,521 |
| P4 | 0,687 | 0,472 | 2,426 |
| P5 | 0,652 | 0,426 | 2,528 |
| P6 | 0,544 | 0,296 | 2,799 |

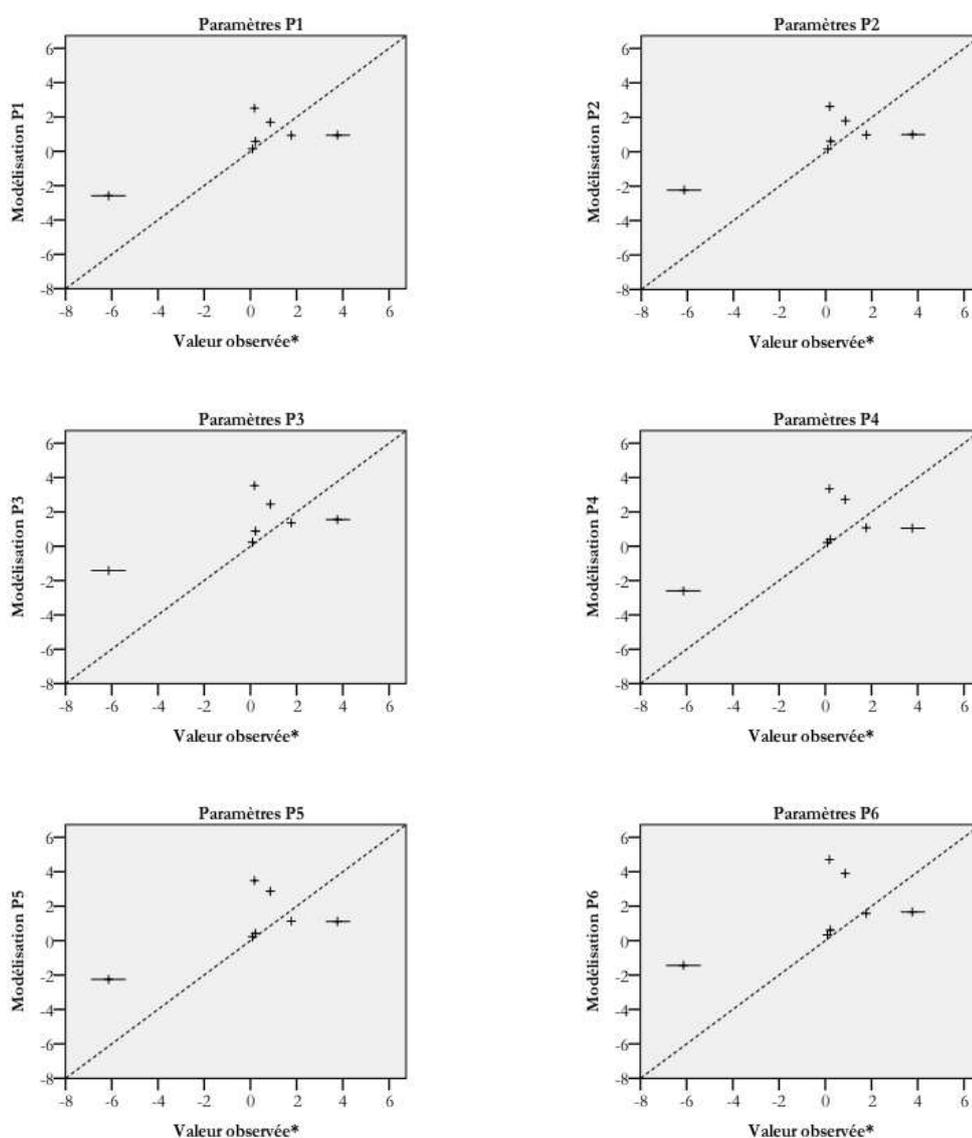


Figure 25: prédiction de la séquestration de carbone par des jeux de paramètres par rapport aux résultats des analyses de sols

Annexe 17 : l'analyse des risques

Tableau 15: résultat de l'analyse des risques selon le standard VCS

| 1 INTERNAL RISK | | |
|---|--|-----------|
| Project Management | | |
| a) | Species planted (where applicable) associated with more than 25% of the stocks on which GHG credits have previously been issued are not native or proven to be adapted to the same or similar agro-ecological zone(s) in which the project is located. | 0 |
| b) | Ongoing enforcement to prevent encroachment by outside actors is required to protect more than 50% of stocks on which GHG credits have previously been issued. | 0 |
| c) | Management team does not include individuals with significant experience in all skills necessary to successfully undertake all project activities (ie, any area of required experience is not covered by at least one individual with at least 5 years experience in the area). | 0 |
| d) | Management team does not maintain a presence in the country or is located more than a day of travel from the project site, considering all parcels or polygons in the project area. | 0 |
| e) | Mitigation: Management team includes individuals with significant experience Management team includes individuals with significant experience in AFOLU project design and implementation, carbon accounting and reporting (eg, individuals who have successfully managed projects through validation, verification and issuance of GHG credits) under the VCS Program or other approved GHG programs. | -2 |
| f) | Mitigation: Adaptive management plan in place | |
| Total Project Management [a + b + c + d + e + f] | | -2 |
| Note: When a risk factor does not apply to the project, the score shall be zero for such factor | | |
| Financial Viability | | |
| Q | How many years does it take for the cumulative cashflow to break even? | c) |
| Q | What percentage of funding is needed to cover the total cash out before the project breaks even has been secured? | e) |
| a) | Project cash flow breakeven point is greater than 10 years from the current risk assessment | 0 |
| b) | Project cash flow breakeven point is between 7 and up to less than 10 years from the current risk assessment | 0 |
| c) | Project cash flow breakeven point between 4 and up to less than 7 years from the current risk assessment | 1 |

| | | |
|---|--|----------|
| d) | Project cash flow breakeven point is less than 4 years from the current risk assessment | 0 |
| e) | Project has secured less than 15% of funding needed to cover the total cash out before the project reaches breakeven | 3 |
| f) | Project has secured 15% to less than 40% of funding needed to cover the total cash out required before the project reaches breakeven | 0 |
| g) | Project has secured 40% to less than 80% of funding needed to cover the total cash out required before the project reaches breakeven | 0 |
| h) | Project has secured 80% or more of funding needed to cover the total cash out before the project reaches breakeven | 0 |
| i) | Mitigation: Project has available as callable financial resources at least 50% of total cash out before project reaches breakeven | 0 |
| Total Financial Viability [(a, b, c or d) + (e, f, g or h) + i] | | 4 |
| Note: When a risk factor does not apply to the project, the score shall be zero for such factor | | |

| Opportunity Cost | | |
|------------------|--|----|
| Q | What is the NPV from the most profitable alternative land use activity compared to NPV of project activity? | b) |
| a) | NPV from the most profitable alternative land use activity is expected to be at least 100% more than that associated with project activities; or where baseline activities are subsistence-driven, net positive community impacts are not demonstrated | 0 |
| b) | NPV from the most profitable alternative land use activity is expected to be between 50% and up to 100% more than from project activities | 6 |
| c) | NPV from the most profitable alternative land use activity is expected to be between 20% and up to 50% more than from project activities | 0 |
| d) | NPV from the most profitable alternative land use activity is expected to be between 20% more than and up to 20% less than from project activities; or where baseline activities are subsistence-driven, net positive community impacts are demonstrated | 0 |
| e) | NPV from project activities is expected to be between 20% and up to 50% more profitable than the most profitable alternative land use activity | 0 |
| f) | NPV from project activities is expected to be at least 50% more profitable than the most profitable alternative land use activity | 0 |
| g) | Mitigation: Project proponent is a non-profit organization | -2 |
| h) | Mitigation: Project is protected by legally binding commitment to continue management practices that protect the credited carbon stocks over the length of the project crediting period (see project longevity) | 0 |
| i) | Mitigation: Project is protected by legally binding commitment to continue management practices that protect the credited carbon stocks over at least 100 years (see project longevity) | 0 |

| | |
|---|----------|
| Total Opportunity Cost [(a, b, c, d, e or f) + (g + h or i)] | 4 |
| Note: When a risk factor does not apply to the project, the score shall be zero for such factor | |
| Total may not be less than zero | |

| | | |
|---|---|-----------|
| Project Longevity | | |
| Q | Does the project have a legally binding agreement that covers at least a 100 year period from the project start date? | No |
| Q | What is the project Longevity in years? | 41 |
| Q | Legal Agreement or requirement to continue management practice? | No |
| a) | Without legal agreement or requirement to continue the management practice | 16 |
| b) | With legal agreement or requirement to continue the management practice | 0 |
| Total Project Longevity | | 16 |
| Note: Total may not be less than zero. Any project with a legally binding agreement that covers at least a 100 year period from the project start date will be assigned a score of zero. Any project with a project longevity of less than 30 years fails the risk assessment | | |
| Total Internal Risk (PM + FV + OC + PL) | | 22 |
| Note: Total may not be less than zero | | |

2 EXTERNAL RISK

| | | |
|---------------------------------|--|-----------|
| Land and resource tenure | | |
| Q | Are the ownership and resource access/use rights held by the same of different entities? | Different |
| a) | Ownership and resource access/use rights are held by same entity(s) | 0 |
| b) | Ownership and resource access/use rights are held by different entity(s) (eg, land is government owned and the project proponent holds a lease or concession) | 2 |
| c) | In more than 5% of the project area, there exist disputes over land tenure or ownership | 0 |
| d) | There exist disputes over access/use rights (or overlapping rights) | 5 |
| e) | WRC projects unable to demonstrate that potential upstream and sea impacts that could undermine issued credits in the next 10 years are irrelevant or expected to be insignificant, or that there is a plan in place for effectively mitigating such impacts | 0 |

| | | |
|---|--|----------|
| f) | Mitigation: Project area is protected by legally binding commitment (eg, a conservation easement or protected area) to continue management practices that protect carbon stocks over the length of the project crediting period | 0 |
| g) | Mitigation: Where disputes over land tenure, ownership or access/use rights exist, documented evidence is provided that projects have implemented activities to resolve the disputes or clarify overlapping claims | -2 |
| Total Land Tenure [(a or b) + c + d + e + f +g] | | 5 |
| Note: When a risk factor does not apply to the project, the score shall be zero for such factor | | |
| Total may not be less than zero | | |

| Community Engagement | | |
|---|--|-----------|
| a) | Less than 50 percent of households living within the project area who are reliant on the project area, have been consulted | 0 |
| b) | Less than 20 percent of households living within 20 km of the project boundary outside the project area, and who are reliant on the project area, have been consulted | 0 |
| c) | Mitigation: The project generates net positive impacts on the social and economic well- being of the local communities who derive livelihoods from the project area | -5 |
| Total Community Engagement [a + b + c] | | -5 |
| Note: When a risk factor does not apply to the project, the score shall be zero for such factor | | |
| Total may be less than zero | | |

| Political Risk | | |
|----------------|---|---------|
| Q | What is the country's calculated Governance score? | -0,3783 |
| a) | Governance score of less than -0.79 | 0 |
| b) | Governance score of -0.79 to less than -0.32 | 4 |
| c) | Governance score of -0.32 to less than 0.19 | 0 |
| d) | Governance score of 0.19 to less than 0.82 | 0 |
| e) | Governance score of 0.82 or higher | 0 |
| f) | Mitigation: Country implementing REDD+ Readiness or other activities such as: a) The country is receiving REDD+ Readiness funding from the FCPF, UN-REDD or other bilateral or multilateral donors b) The country is participating in the CCBA/CARE REDD+ Social and Environmental Standards Initiative c) The jurisdiction in which the project is located is participating in the Governors' Climate and Forest Taskforce d) The country has an established national FSC or PEFC standards body e) The country has an established DNA under the CDM and has at least one registered CDM A/R project | 0 |

| | |
|---|----------|
| Total Political [(a, b, c, d or e) + f] | 4 |
| Note: When a risk factor does not apply to the project, the score shall be zero for such factor | |
| Total may not be less than zero | |

| | |
|--|----------|
| Total External Risk (LT + CE +PC) | 4 |
| Note: Total may not be less than zero | |

3 NATURAL RISK

| Risk Category Factors | | LS Value | Mitigation | Risk Rating |
|---|---------------------------------|----------|------------|--------------|
| a) | Fire (F) | 2 | 1,00 | 2,00 |
| b) | Pest and Disease Outbreaks (PD) | 20 | 0,50 | 10,00 |
| c) | Extreme Weather (W) | 0 | 1,00 | 0,00 |
| d) | Geological Risk (G) | 0 | 1,00 | 0,00 |
| e) | Other natural risk (ON1) | 0 | 1,00 | 0,00 |
| f) | Other natural risk (ON2) | 0 | 1,00 | 0,00 |
| g) | Other natural risk (ON3) | 0 | 1,00 | 0,00 |
| Total Natural Risk [F + PD + W + G + ON] | | | | 12,00 |
| Note: When a risk factor does not apply to the project, the score shall be zero for such factor | | | | |
| Risk rating is determined by [LS x M] | | | | |

| | |
|---|--------------|
| Total Natural Risk (F + PD + W + G + ON) | 12,00 |
| Note: Total may not be less than zero | |
| If the Total Natural Risk is above 35 then the project fails the entire risk analysis | |

STEP 2: OVERALL NON-PERMANENCE RISK RATING AND BUFFER DETERMINATION

| Risk Category | Rating | |
|--|---------------|------------|
| a) | Internal risk | 21,80 |
| b) | External risk | 4,00 |
| c) | Natural Risk | 12,00 |
| Overall risk rating (a + b + c) | | 38 |
| <p>Note: Overall risk rating shall be rounded up to the nearest whole percentage The minimum risk rating shall be 10, regardless of the risk rating calculated If the overall risk rating is over 60 then the project fails the entire risk analysis</p> | | |
| Total Risk Assessment | | 38% |

1.1. annexe 26 : résultats détaillés de l'analyse économique

Tableau 16: bénéfices actualisés nets pour le scénario 1

| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
|-------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 2009 | - € | - € | - € | - € | - € | - € |
| 2010 | - € | - € | - € | - € | - € | - € |
| 2011 | - € | - € | - € | - € | - € | - € |
| 2012 | - € | - € | - € | - € | - € | - € |
| 2013 | -82 776 € | -82 776 € | -82 776 € | -82 776 € | -82 776 € | -82 776 € |
| 2014 | -29 766 € | -24 412 € | -12 349 € | 73 612 € | 80 731 € | 97 747 € |
| 2015 | -71 904 € | -66 550 € | -54 487 € | 31 474 € | 38 593 € | 55 609 € |
| 2016 | -64 887 € | -56 274 € | -35 912 € | 121 457 € | 133 677 € | 164 161 € |
| 2017 | -108 631 € | -100 017 € | -79 655 € | 77 714 € | 89 934 € | 120 417 € |
| 2018 | -129 903 € | -121 290 € | -100 928 € | 56 441 € | 68 661 € | 99 145 € |
| 2019 | -89 259 € | -76 223 € | -44 448 € | 169 240 € | 188 328 € | 237 076 € |
| 2020 | -107 164 € | -94 128 € | -62 352 € | 151 335 € | 170 423 € | 219 171 € |
| 2021 | -123 590 € | -110 554 € | -78 779 € | 134 909 € | 153 997 € | 202 744 € |
| 2022 | -138 660 € | -125 624 € | -93 849 € | 119 839 € | 138 927 € | 187 674 € |
| 2023 | -124 638 € | -107 975 € | -66 956 € | 183 222 € | 208 132 € | 272 276 € |
| 2024 | -137 322 € | -120 659 € | -79 640 € | 170 538 € | 195 448 € | 259 592 € |
| 2025 | -148 959 € | -132 296 € | -91 277 € | 158 901 € | 183 811 € | 247 955 € |
| 2026 | -159 635 € | -142 972 € | -101 953 € | 148 225 € | 173 135 € | 237 279 € |
| 2027 | -169 429 € | -152 766 € | -111 748 € | 138 431 € | 163 341 € | 227 484 € |
| 2028 | -171 538 € | -152 602 € | -105 924 € | 152 203 € | 180 574 € | 253 702 € |

Tableau 17: bénéfices actualisés nets pour le scénario 2

| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
|-------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 2009 | - € | - € | - € | - € | - € | - € |
| 2010 | - € | - € | - € | - € | - € | - € |
| 2011 | - € | - € | - € | - € | - € | - € |
| 2012 | - € | - € | - € | - € | - € | - € |
| 2013 | -91 123 € | -91 123 € | -91 123 € | -91 123 € | -91 123 € | -91 123 € |
| 2014 | -56 352 € | -51 442 € | -40 618 € | 47 026 € | 53 702 € | 69 478 € |
| 2015 | -113 542 € | -108 632 € | -97 809 € | -10 164 € | -3 489 € | 12 287 € |
| 2016 | -126 449 € | -118 697 € | -100 747 € | 59 896 € | 71 254 € | 99 325 € |
| 2017 | -180 960 € | -173 208 € | -155 259 € | 5 384 € | 16 743 € | 44 814 € |
| 2018 | -202 233 € | -194 481 € | -176 531 € | -15 888 € | -4 530 € | 23 541 € |

| | | | | | | |
|-------------|------------|------------|------------|----------|-----------|-----------|
| 2019 | -168 486 € | -156 833 € | -128 931 € | 90 013 € | 107 718 € | 152 592 € |
| 2020 | -186 391 € | -174 738 € | -146 836 € | 72 108 € | 89 813 € | 134 687 € |
| 2021 | -202 817 € | -191 164 € | -163 262 € | 55 682 € | 73 387 € | 118 261 € |
| 2022 | -217 887 € | -206 234 € | -178 333 € | 40 612 € | 58 317 € | 103 191 € |
| 2023 | -209 871 € | -195 043 € | -159 170 € | 97 989 € | 121 064 € | 180 062 € |
| 2024 | -222 555 € | -207 727 € | -171 854 € | 85 305 € | 108 380 € | 167 378 € |
| 2025 | -234 192 € | -219 364 € | -183 491 € | 73 668 € | 96 743 € | 155 741 € |
| 2026 | -244 868 € | -230 040 € | -194 167 € | 62 992 € | 86 067 € | 145 065 € |
| 2027 | -254 662 € | -239 835 € | -203 962 € | 53 198 € | 76 272 € | 135 270 € |
| 2028 | -260 192 € | -243 350 € | -202 541 € | 63 550 € | 89 826 € | 157 085 € |

Annexe 27 : paramètres pour le calcul de l'incertitude du système de suivi

Tableau 18 : paramètres pour le calcul de l'incertitude du calcul de la séquestration de carbone par un plant de 2008 sur un sol limoneux

| Apport en carbone par la litière des plants de 2008 (N=234) | | kg/plant | Erreur standard |
|--|------------------|-----------------|------------------------|
| Moyenne | | 0,405 | 0,020 |
| Intervalle de confiance à 95% pour la moyenne | Borne inférieure | 0,365 | |
| | Borne supérieure | 0,445 | |
| Ecart-type | | 0,311 | |
| Taux d'argile des sols qualifiés comme limoneux (N=10) | | % | Erreur standard |
| Moyenne | | 30,700 | 1,291 |
| Intervalle de confiance à 95% pour la moyenne | Borne inférieure | 27,779 | |
| | Borne supérieure | 33,621 | |

Annexe 28 : données à récolter pour le suivi

Tableau 19: données de suivi à récolter sur toutes les parcelles

| Donnée | Unité | Fréquence | Source |
|-------------------------------------|--|---|-----------------------------|
| Localisation GPS | / | Avant projet | Inventaire équipes de suivi |
| Surface | m ² | Avant projet | Inventaire équipes de suivi |
| Cultures et pratiques agricoles | - Variété cultivées - Pratiques de gestion des résidus de culture - Pratique du brulis | Avant projet Annuellement après projet | Inventaire équipes de suivi |
| Nombre de jatropha par classe d'âge | / | Annuellement après projet | Inventaire équipes de suivi |

Tableau 20: données de suivi à récolter sur un échantillon de parcelles

| Donnée | Unité | Fréquence | Source |
|---|-------|---|-----------------------------|
| Quantité récolté | t/an | Avant projet Annuellement après projet | Formulaire de suivi |
| Ratio de la récolte brûlée | % | Avant projet Annuellement après projet | Formulaire de suivi |
| Ratio de la récolte retournant au sol comme résidus | % | Avant projet Annuellement après projet | Formulaire de suivi |
| Diamètre au collet des jatropha par classe d'âge | cm | Annuellement après projet | Inventaire équipes de suivi |

Tableau 21: données à récolter pouvant être négligées suite à une étude supplémentaire

| | | | |
|--|-------|---|---------------------|
| Quantité de fertilisants minéraux utilisée | kg/an | Avant projet Annuellement après projet | Formulaire de suivi |
| Quantité et type de carburants fossiles utilisés | l/an | Avant projet Annuellement après projet | Formulaire de suivi |

Annexe 29 : potentiel en crédits carbone selon la méthodologie MDP AMS0007

Tableau 22: potentiel en crédits carbone selon la méthodologie MDP AMS0007

| Année | ER total | VCU total après buffer |
|--------------|----------------|------------------------|
| 2009 | 4 550 | - |
| 2010 | 9 899 | - |
| 2011 | 15 246 | - |
| 2012 | 23 674 | - |
| 2013 | 33 824 | - |
| 2014 | 37 418 | 77 259 |
| 2015 | 34 522 | - |
| 2016 | 27 319 | 38 342 |
| 2017 | 23 679 | - |
| 2018 | 25 512 | - |
| 2019 | 26 060 | 46 655 |
| 2020 | 24 040 | - |
| 2021 | 20 022 | - |
| 2022 | 16 548 | - |
| 2023 | 14 975 | 46 862 |
| 2024 | 14 407 | - |
| 2025 | 14 270 | - |
| 2026 | 14 238 | - |
| 2027 | 14 238 | - |
| 2028 | 10 071 | 41 678 |
| Somme | 404 511 | 250 797 |

Des réactions ou des questions sur de document ? Prenez contact avec le réseau JatroREF !

Marina Gavaldaõ, animatrice du pôle finance carbone m.gavaldao@geres.eu

Réseau animé par



en partenariat avec



Énergie
Environnement
Solidarité

et avec l'ANADEB, la DGE Bénin et le CERPA Zou Collines (Bénin)



Le contenu de cette publication relève de la seule responsabilité du projet JatroREF et ne peut aucunement être considéré comme reflétant le point de vue de l'Union européenne ni des autres partenaires financiers