

Louvain School of Management

Estimation des émissions de GES non émises et séquestrées par deux projets pilotes et évaluation de crédits carbone associés

Auteur : Costenoble Victor
Promoteur : Truyens Vincent
Année académique 2019-2020
GESM2M1 : Master [60] en sciences de gestion

Résumé du travail

Ce travail de fin d'étude porte sur l'estimation des émissions de gaz à effet de serre (GES) non émises et séquestrées durant la mise en place de deux projets pilotes. Ces deux projets sont gérés par l'association Nébédjay qui opère dans la région du Delta du Sine Saloum au Sénégal. Le premier porte sur l'introduction foyers trois pierres améliorés (F3PA) pour remplacer les foyers traditionnels dans les ménages de la région. Ces F3PAs sont plus performants et réduisent dès lors la consommation de bois dans les ménages ; réduisant ainsi la pression anthropique sur les ressources ligneuses des mangroves de la région. Le second projet porte sur le reboisement de 480.000 palétuviers rouges dans lesdites mangroves.

Ces deux projets contribuent à l'assainissement de l'atmosphère ; les F3PAs réduisent la quantité d'émissions émises lors de la combustion de bois de chauffe et la reforestation permet de séquestrer durablement le CO₂ dans la biomasse des arbres et les sols. Dès lors, ces deux projets peuvent théoriquement s'inscrire dans le système d'échange de crédits carbone sur le marché volontaire. Moyennant une certification onéreuse délivrée par un organisme externe, l'association pourrait soutirer des crédits carbone pour chaque tonne de CO₂ non émise ou séquestrée chaque année.

La première partie de ce travail consiste en l'estimation ex-ante des réductions d'émissions pour chaque projet en suivant les méthodologies appropriées. Une fois cette quantification réalisée, une analyse des couts et des revenus liés à la certification a été établie afin d'évaluer si la certification carbone est bénéfique pour chaque projet. Une analyse des résultats a été menée afin d'identifier les paramètres clés des estimations. Enfin, une discussion reprenant l'ensemble de ces considérations a été poursuivie afin de synthétiser les résultats obtenus.

Mots-clés : comptabilité carbone, crédit carbone, marché carbone volontaire, estimations ex-ante, F3PA, reboisement mangrove.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Thierry De Coster, chargé de projet chez ULB-Coopération, sans qui ce travail n'aurait pas vu le jour. Il a pris le temps de me recevoir à plusieurs reprises afin de mettre en place ce projet de TFE. Il m'a notamment introduit auprès des bonnes personnes lors de discussions enrichissantes. Je remercie également mon promoteur Vincent Truyens ; malgré son emploi du temps chargé, il a accepté de superviser ce travail. Merci à lui pour ses retours et ses réflexions avisées, en lien ou non avec ce travail. Merci à Steve Tumson pour ses suggestions de lectures qui en plus d'étoffer les références de cette production m'ont permis de regarder sous un angle nouveau certaines des problématiques actuelles. Merci à la merveilleuse Camille Duveau pour sa relecture attentive. Enfin, je remercie Herman Noppen, directeur de projets chez CO2Logic, pour avoir su me guider dans mes recherches concernant ce monde complexe qu'est la compensation carbone. Sans sa supervision et ses vérifications, ce travail n'aurait pu aboutir de la même manière.

Table des matières

Résumé du travail.....	i
Remerciements	iii
Table des illustrations	III
1. Introduction.....	1
1.1. La problématique du réchauffement climatique	1
Un problème, une solution	1
L'effet de serre	1
Les émissions anthropiques	2
Un consensus lentement établi.....	3
1.2. Recherche de solutions	5
Les puits carbone.....	6
Le reboisement de mangroves.....	7
2. Présentation du projet	8
2.1. L'association Nébédary	8
Préservation et reboisement de la mangrove	10
Introduction de foyers améliorés.....	10
3. Méthodologies d'inventaire	12
3.1. La comptabilité carbone	12
3.2. Le marché volontaire	13
Processus de certification	14
3.3. Méthodologie d'inventaire F3PA.....	15
Calcul des réductions d'émissions.....	16

Méthodologie de monitoring	17
3.4. Méthodologie d'inventaire reboisement de mangrove	18
Estimation du carbone séquestré par la mangrove	18
4. Estimation ex-ante des réductions d'émissions.....	20
4.1. Introduction des foyers améliorés	20
Évaluation des réductions d'émissions	20
Évaluation des couts liés à la certification	22
Analyse des couts et revenus	23
4.2. Reboisement de mangrove	24
Évaluation des réductions d'émissions	24
Évaluation des couts et revenus liés à la certification	29
5. Discussion des résultats	30
5.1. Introduction des foyers améliorés	30
Nombre de personnes par ménage	30
Taux d'utilisation	33
5.2. Reboisement de la mangrove.....	34
Nombre d'arbres plantés	34
5.3. Réflexions quant à la certification et l'utilisation de crédits carbone.....	36
6. Conclusion	37
Annexes	40
1. Couts liés à la certification Gold Standard pour l'introduction de F3PAs	40
2. Évolution du stock de biomasse dans la plantation.....	41
.....	Erreur ! Signet non défini.

3. Coûts liés à la certification Verra pour le reboisement de 3000ha de mangrove	42
Bibliographie	43

Table des illustrations

Figure 1- Inventaire des émissions de t eqCO ₂ par secteur (sauf LULUCF) entre 1850 et 2017 Données issues de (Gütschow & al., 2019).....	3
Figure 2- Principaux puits carbone naturels	6
Figure 3- Mangrove du Sine Saloum (Sénégal) - Photo D&P Mariottini- http://dp.mariottini.free.fr/	7
Figure 4 Avantages de la restauration des mangroves vus par les habitants (LivelihoodsFunds, 2019)	8
Figure 5- Logo association Nébédéday (http://www.nebeday.org/)	9
Figure 6- Région du Delta du Sine Saloum.....	9
Figure 7- Différence F3PT/F3PA.....	11
Figure 8- Volume, prix et valeurs moyennes des différents crédits-carbone échangés en 2017 et 2018 (Donofrio & al, 2019)	14
Figure 9 Analyse financière ventilée de la certification du projet F3PA.....	23
Figure 10 Estimation de la croissance du DBH des palétuviers rouges (Pienaar, 1973).....	25
Figure 11 Évolution du stock de carbone dans les 96ha de plantations	27
Figure 12 Analyse financière ventilée de la certification du projet fictif reboisement de mangrove sur 3000ha	30
Figure 13 Évolution des émissions de GES non-émises en fonction de la taille des ménages	32
Figure 14 Évolution des flux financiers en fonction de la taille des ménages	32
Figure 15 Évolution des émissions non-émises en fonction du taux d'utilisation des F3PAs.....	34
Figure 16 Évolution des flux financiers en fonction du taux d'utilisation des F3PAs	34
Figure 17 Évolution des flux financiers liés et des émissions séquestrées en fonction de la surface de plantation.....	35

1. Introduction

1.1. La problématique du réchauffement climatique

Un problème, une solution

Il existe des problèmes qui sont difficiles à résoudre de par leur nature complexe ; d'autres sont difficilement solvables parce qu'ils sont trop simples (Hänggi, 2019). La crise climatique qui nous touche appartient au second groupe. En effet, la solution la plus efficace réside dans l'arrêt total de rejet dans l'atmosphère de gaz à effet de serre. Ces derniers résultent principalement de la combustion de carbone fossile, à savoir principalement le pétrole, le gaz et le charbon. Bien entendu, cette perspective est contradictoire avec la politique de croissance actuelle. Il existe en effet une corrélation évidente entre croissance et utilisation d'énergie globale (Jancovici, 2015). Le fait que ces ressources fossiles contiennent une densité d'énergie colossale a permis d'alimenter l'économie mondiale depuis la découverte de leurs propriétés remarquables il y a deux siècles.

L'effet de serre

Il s'agit d'un phénomène naturel mais amplifié par l'activité humaine. En temps normal, l'effet de serre permet de maintenir une température moyenne de 15°C sur le globe, permettant ainsi la vie de se développer. Ce phénomène résulte de la présence naturelle dans l'atmosphère de différents gaz à effet de serre (GES) que sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), l'ozone (O₃) et les hydrocarbures halogénés. Ces GES absorbent une partie des rayonnements infrarouges résultants de l'énergie solaire réémise par la surface terrestre (Brohé, 2013). Le fait d'intercepter cette énergie autrement renvoyée vers l'espace contribue à une augmentation de température globale d'environ +33°C.

En fonction de leur nature et de leur temps de séjour dans l'atmosphère, ces gaz impactent différemment le changement climatique. Dès lors, un Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) est associé à chaque GES afin de quantifier son impact sur le climat pour une période donnée. Le PRG₁₀₀ est généralement utilisé pour comparer les différents gaz entre eux ; il s'agit d'une mesure relative quantifiant le rapport entre la puissance radiative qu'un GES renvoie vers le sol sur une durée de 100 ans et cette même puissance cumulée pour le CO₂. Ainsi, le PRG₁₀₀ du CO₂ est l'unité.

L'intérêt de cette mesure est qu'elle permet de comparer l'effet des différents GES entre eux et à le ramener à une même échelle. À titre d'exemple, le PRG_{100} du méthane (CH_4) étant de 28 (IPCC, 2013), l'impact sur le climat d'une tonne de ce gaz sera identique à celui provoqué par 28 tonnes de CO_2 ou 28 tonnes équivalent CO_2 (t eqCO_2). Cette notion de t eqCO_2 sera essentielle pour la compréhension de ce travail.

Les émissions anthropiques

Le réchauffement climatique est le fruit d'une perturbation humaine du cycle du carbone. En effet, les combustibles fossiles ou « hydrocarbures » sont le résultat de la lente décomposition d'éléments organiques sur une longue période. Ces organismes décomposés et transformés constituent sur Terre un stock fini ayant mis des centaines de millions d'années à se former (Hänggi, 2019). La combustion d'hydrocarbures rejette dans l'atmosphère une quantité additionnelle de GES provoquant un déséquilibre dans la capacité qu'à l'atmosphère à résorber ces gaz (capacité de charge). Ceci induit in fine une augmentation de la température globale. Sur la Figure 1, il apparaît que les émissions de GES ne font qu'augmenter depuis 1850 pour atteindre en 2017 un total de 47.6Gt eqCO_2 (Gütschow & al., 2019). À titre informatif, la moyenne belge des émissions de GES par habitant est estimée à 10.5t eqCO_2 (Eurostat, 2017) à comparer avec les 0.6t eqCO_2 pour un habitant sénégalais (Banque Mondiale, 2014). Un vol aller-retour Bruxelles/New-York rejette quant à lui 2.6t eqCO_2 par passager si l'on inclue l'impact du forçage radiatif (Green Tripper, 2020).

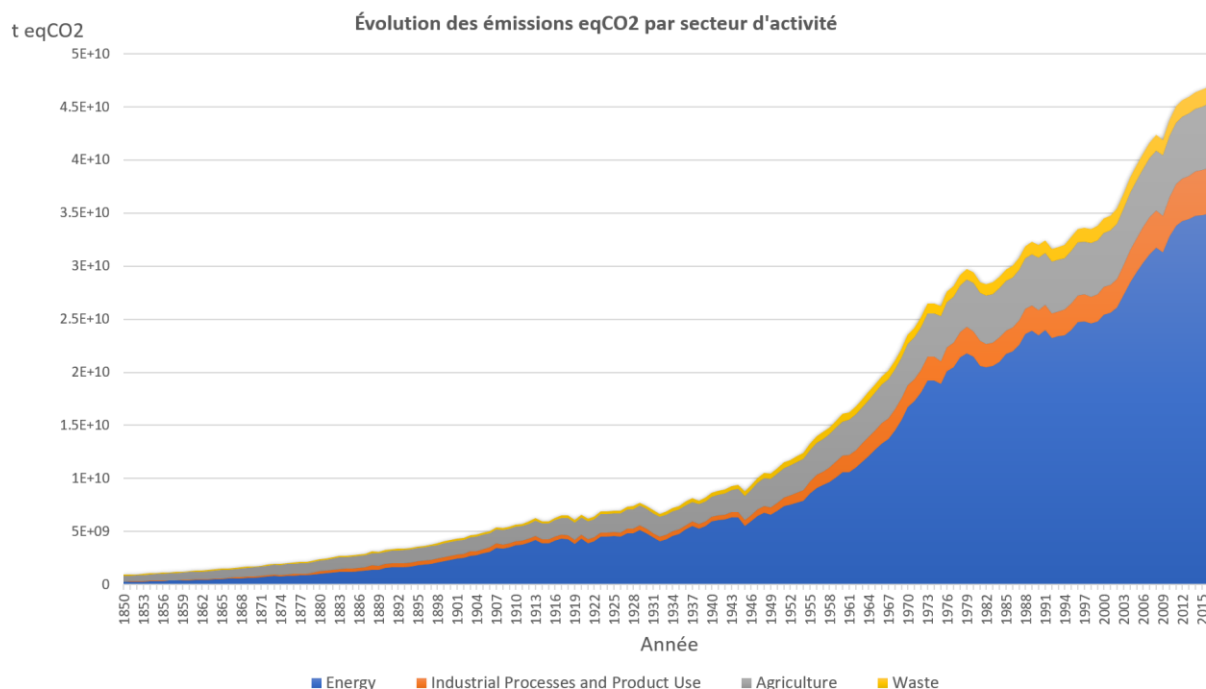


Figure 1- Inventaire des émissions de t eqCO2 par secteur (sauf LULUCF) entre 1850 et 2017
Données issues de (Gütschow & al., 2019)

On constate que les différents secteurs d'activité contribuent différemment à ces émissions. Le secteur ayant le plus gros impact est celui de l'énergie qui inclue ici la production d'électricité et de chaleur (30.4% du total), le transport (16%), la manufacture et la construction (12%) ainsi que les différentes émissions fugitives associées. La dégradation des forêts est une autre activité anthropique (non reprise telle quelle sur ce graphique) qui favorise le réchauffement climatique. Bien que son impact soit difficilement quantifiable, il est estimé que la dégradation des forêts contribue pour 6 à 17% des émissions de GES imputables à l'activité humaine (Werf & al, 2009). La thématique de la dégradation des forêts sera de nouveau évoquée lors de la suite de ce travail.

Un consensus lentement établi

S'il est aujourd'hui admis que le réchauffement climatique est le résultat des émissions anthropiques, l'histoire montre que cette prise de conscience relative à notre responsabilité dans cette crise a mis du temps à s'imposer. Il a fallu attendre 1972 et la publication du rapport « *The Limits to Growth* », commandé auprès de scientifiques du MIT par le prestigieux Club de Rome, pour voir apparaître la première véritable prise de conscience de la crise planétaire naissante.

Dans ce rapport, ce groupe de réflexion, composé principalement de scientifiques, d'économistes et d'industriels, a mis en évidence l'incompatibilité d'une économie de croissance avec un monde aux ressources finies (Meadows & al, 1972). Les constats de ce rapport eurent néanmoins peu d'écho sur la scène internationale lors des quinze années suivantes. Sous l'impulsion de l'ONU, le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) voit le jour en 1988. Cette instance a pour mission d'évaluer de manière objective et scientifique les risques et conséquences du réchauffement climatique d'origine humaine. Le GIEC présente ses résultats sous forme de rapports (le sixième prévu pour 2022 (GIEC, 2017)) accompagnés de stratégies visant à limiter les conséquences du réchauffement du climat. Ces rapports sont considérés comme des références en matière de questions climatiques. Le premier grand rassemblement politique ambitieux en matière de changement climatique a été le sommet environnemental de l'ONU à Rio de Janeiro en 1992. C'est à ce moment que fut négocié l'accord cadre sur le changement climatique (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC). Ce texte avait pour ambition de prévenir la survenue d'une « dangereuse perturbation anthropique du système climatique », sans donner pour autant plus de précisions. Il énonçait cependant le principe important selon lequel les États s'engageaient dans cette lutte selon leurs responsabilités communes, mais différentes, et selon leurs capacités respectives. Cet accord appelait aussi à la signature de traités futurs ayant pour mission de convertir ces principes en mesures concrètes. Le Protocole de Kyoto (PK) signé en 1997 a été le premier de ces traités. En plus de définir des quotas de réduction quant aux émissions produites par les États en fonction de leur ampleur actuelle (approche « top-down »), le PK créait un système de commerce d'émissions. Ainsi, lorsqu'un État n'atteignait pas ses objectifs de réduction, il lui était possible de racheter les réductions d'émissions d'un autre État ayant dépassé ses objectifs. De part ce mécanisme de transaction et le nombre trop élevés de quotas mis sur le marché, le PK resta largement sans effet. Malgré son manque d'ambition, il posait néanmoins les prémices de la comptabilité carbone ; notion qui sera plus longuement développée dans ce travail. Vinrent ensuite les sommets de Copenhague en 2009 puis Paris en 2015. Lors de ce dernier, il fut admis que l'approche imposant des limites d'émissions maximales était illusoire. Dès lors dans ce nouvel accord, il était prévu que les différents États définissent quelles réductions ils étaient disposés à

fournir et ce en vue de répondre à un objectif commun (approche « bottom-up »). Cet objectif, basé sur les travaux du GIEC, prévoit de limiter le réchauffement climatique nettement en-dessous de 2°C par rapport à l'ère pré-industrielle. Les États signataires doivent de surcroît entreprendre des efforts afin de limiter celui-ci à 1.5°C. L'objectif est ambitieux mais rien n'est cependant prévu pour les États signataires qui ne respecteraient pas leurs promesses. Si désormais plus de 97% des scientifiques du climat sont convaincus que le changement climatique est imputable à l'Homme (Maibach & al, 2014), ce consensus s'est établi lentement, il est désormais urgent de mettre en place des solutions. Comme le résume le Prof. Gemenne, membre du GIEC, il est temps que l'humanité cesse de négliger la synergie évidente qui existe entre la Terre, au sens d'astre, et le Monde, au sens de l'ensemble de ses habitants exploitant ses ressources (Gemenne, 2019).

1.2. Recherche de solutions

La solution au problème du réchauffement climatique a déjà été annoncée en préambule : l'arrêt total et définitif de la combustion d'hydrocarbure. Cette mesure drastique étant en contradiction avec la société actuelle, il nous faut dans un premier temps procéder à une transition afin d'amorcer ce virage radical. Une partie de la solution réside sans doute dans l'utilisation d'énergies renouvelables (e.g. hydro-électricité, biomasse, éolien, photovoltaïque) qui lors de leur génération ne produisent pratiquement pas de GES additionnels. Les énergies renouvelables couvrent actuellement plus de 26% de la génération d'électricité mondiale (REN21, 2019) ; cela est encourageant au vu de l'impact de la production d'énergie sur le réchauffement planétaire (cf. Figure 1). Cependant, ces énergies alternatives ne peuvent à elles seules résoudre le problème pour au moins trois raisons. Premièrement, elles font généralement face à un problème d'intermittence dans la production dues aux conditions externes non régulables (puissance du vent, ensoleillement, etc.). Pour couvrir entièrement la demande, cela nécessiterait des systèmes de stockage et de dispatching hors normes. Ensuite, si la production d'énergie verte augmente, la demande globale en énergie augmente elle aussi, d'autant plus dans les pays en développement (REN21, 2019). Pour s'imposer, l'introduction de ces énergies alternatives devrait être couplée à des mesures de frugalité vis-à-vis des besoins en énergie ; ce qui est contraire aux paradigmes de croissance actuels. Enfin, si les énergies renouvelables ne produisent pas de GES

lors de leur production, il existe toujours une part incompressible d'émissions liée à la création des installations et leur démantèlement (énergie dite « grise »). Le passage aux énergies alternatives ne sera donc pas suffisant pour résoudre le problème climatique. Il existe des mécanismes naturels qui permettent, toutes proportions gardées, de limiter certaines des externalités susmentionnées. Des phénomènes naturels, présentés à la section suivante, permettent en effet de capturer et séquestrer une partie du CO₂ atmosphérique.

Les puits carbone

La plupart des scénarios visant à limiter le réchauffement climatique incluent dans leurs prévisions des solutions technologiques innovantes permettant la capture et le stockage du CO₂ atmosphérique excédentaire. Bien que les recherches abondent dans cette voie, cela fait des millions d'années que la Nature a mis en place ce type de mécanismes, appelés puits carbone. Il existe différents puits carbone naturels, les principaux et les relations qui existent entre eux sont représentés à la Figure 2.

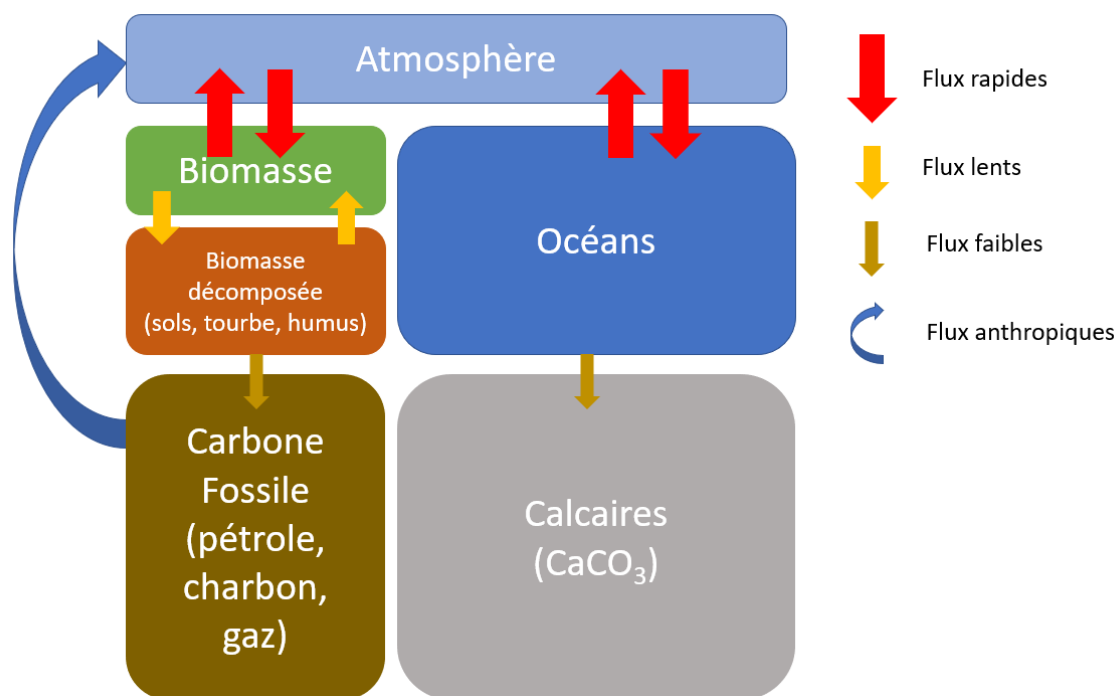


Figure 2- Principaux puits carbone naturels

À cause de l'effet de serre anthropique, l'atmosphère est désormais considérée comme un puits carbone devant être dépollué du fait des émissions excédentaires. Les mers et océans ont une

grande capacité d'absorption de carbone excédentaire mais celle-ci arrive à saturation, provoquant l'acidification des eaux et la destruction des écosystèmes y habitant. Le carbone biogénique, c'est-à-dire issu de la biomasse, constitue une réserve de carbone pour laquelle des actions humaines telles que le reboisement et la préservation des forêts peuvent garantir, voir augmenter, la capacité¹.

Le reboisement de mangroves

Les mangroves sont des écosystèmes constitués de forêts qui se développent le long des littoraux tropicaux, à l'interface entre la terre ferme et l'eau (Figure 3).



Figure 3- Mangrove du Sine Saloum (Sénégal) - Photo D&P Mariottini- <http://dp.mariottini.free.fr/>

Ces écosystèmes se retrouvent sur la plupart des littoraux appartenant à des zones tropicales et sous-tropicales du globe. De manière générale, le couvert végétal des mangroves s'amenuise à mesure que les populations locales les exploitent pour en retirer du bois de chauffe ou de construction (Armah, 2010). Outre l'aspect économique, ces écosystèmes offrent de nombreux avantages pour les populations locales comme en témoignent les résultats d'une étude réalisée par *Livelihoods Funds* auprès des communautés villageoises sénégalaises (Figure 4).

¹ Ce type d'action doit toutefois se faire dans une approche systémique et les résultats de la séquestration mènent à des degrés d'incertitude élevés. Ils doivent donc être évalués avec précaution.

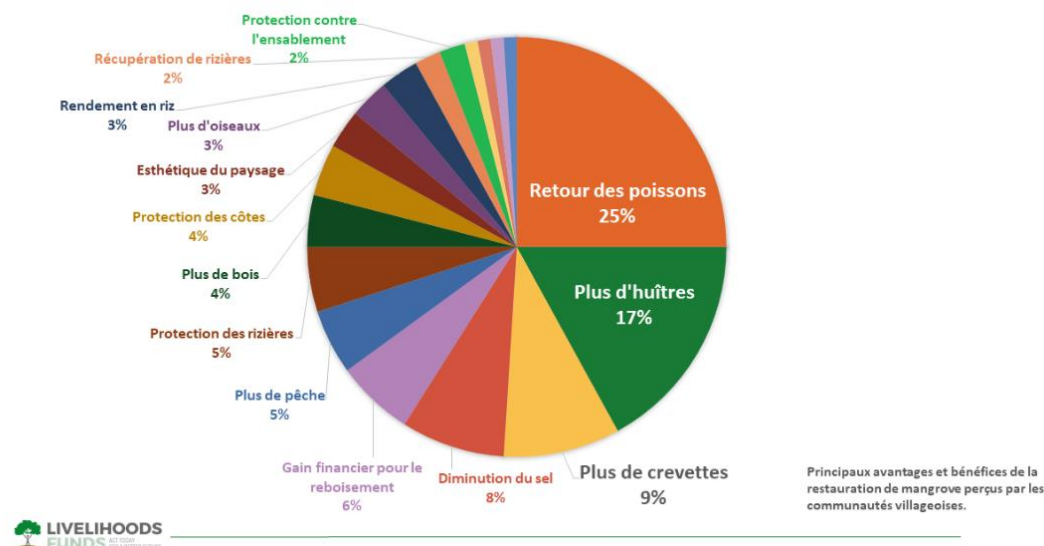


Figure 4 Avantages de la restauration des mangroves vus par les habitants (LivelihoodsFunds, 2019)

En plus de leur importante contribution au développement de la biomasse, ces organismes constituent une importante réserve de « carbone bleu »² qui représente à peine 1% de la séquestration globale réalisée par les forêts mais jusqu'à 13% de celle des océans (Alongi, 2012). La problématique de la dégradation des mangroves due à la pression anthropique ainsi que des suggestions de solutions seront évoquées dans la suite de ce travail.

2. Présentation du projet

2.1. L'association Nébéday

Nébéday³ est une association sénégalaise qui met en place des initiatives visant à préserver les écosystèmes de la région du Delta du Saloum (Figure 6). L'objectif de l'association est la gestion participative des ressources naturelles par et pour les populations locales. Les actions mises en œuvre visent à protéger les ressources naturelles mais aussi à les valoriser (vente de produits

² Référence au carbone capturé par les océans et les écosystèmes côtiers, et stockés dans la biomasse ou dans les sédiments.

³ Site internet : <http://www.nebeday.org/>, consulté le 13/03/2020.

locaux, écotourisme, etc.) afin de développer l'économie locale. Deux autres aspects importants relatifs aux actions de l'association sont la sensibilisation des populations locales aux problématiques environnementales ainsi que la valorisation de la place de la femme dans les communautés sénégalaises. L'association collabore notamment avec l'ONG ULB Coopération qui les aide dans la mise en place de certains projets ainsi que dans la recherche de financements et de partenaires. C'est d'ailleurs via cet intermédiaire que ce travail a été proposé.



Figure 5- Logo association Nébédary
(<http://www.nebeday.org/>)

Figure 6- Région du Delta du Sine Saloum

Dans le cadre de ce projet, nous allons nous intéresser à deux de leurs actions : le reboisement de la mangrove de la région et l'introduction de foyers améliorés. Les informations présentées ci-après proviennent du dossier d'appel à projets de l'Agence wallonne de l'Air et du Climat (AWAC) ; projet intitulé « *Gandiaxx Day Nate : Projet d'appui à l'adaptation et l'atténuation des changements climatiques aux populations du Saloum* ».

Préservation et reboisement de la mangrove

L'association organise régulièrement de vastes opérations de reboisement. Un des derniers objectifs fixés est la plantation de 600.000 arbres : 80% de palétuviers dans les mangroves de la région et 20% d'arbres continentaux (majoritairement palmiers rôniers). Ce reboisement massif sera effectué par des volontaires formés (préférentiellement des femmes impliquées dans d'autres projets de l'association) et sera géré de manière durable par l'association. Pour ce faire, un protocole de suivi a été mis en place et une application en ligne permet aux agents de Nébédjay d'enregistrer les plantations ainsi que des informations relatives à l'espèce, la géolocalisation et l'état de santé de celles-ci. Le reboisement des palétuviers sera réalisé en tenant compte du bilan et des recommandations du projet Expertise Universitaire Mangrove (EU-M) (Les Deltas du Monde, 2019). Dans la suite de ce travail, les émissions de CO₂ séquestrées par ce projet seront estimées afin d'évaluer s'il est envisageable d'en soutirer des crédits carbone (cf. Section 4 et suivantes).

Introduction de foyers améliorés

Comme indiqué au chapitre précédent, la pression anthropique sur les ressources ligneuses des mangroves met en péril ces écosystèmes fragiles. Afin de limiter la demande locale en bois de chauffe et ainsi assurer la régénération du couvert forestier, l'association prévoit d'introduire des foyers dit « améliorés » auprès des ménages de la région. Ces foyers 3 pierres améliorés, ou F3PA, sont des alternatives aux foyers trois pierres traditionnels (Figure 7). Le F3PA présente l'avantage d'être significativement plus efficace que les foyers traditionnels ; il a notamment été montré que le rendement thermique à puissance élevée de ce type de foyer atteint 25%, contre 10% pour les foyers traditionnels (Tanoh, Kpai, Sawadogo, & Sidibe, 2015). En réduisant la consommation de bois de chauffe d'un facteur 2 et plus, les émissions de CO₂ émises lors de la combustion sont aussi significativement réduites.

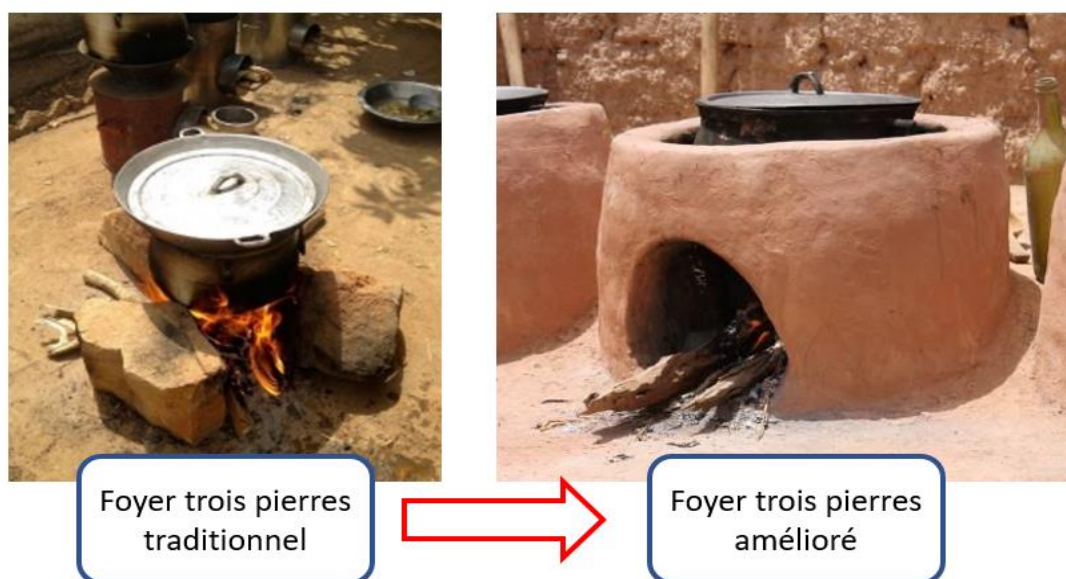


Figure 7- Différence F3PT/F3PA⁴

En plus de limiter la consommation de bois, le F3PA comporte bien d'autres avantages. Il réduit considérablement la quantité de fumées produites lors de la combustion ce qui permet de réduire les irritations oculaires, l'apparition de toux et autres maladies respiratoires. De plus, les méthodes de fabrication sont simples et peu coûteuses.

L'objectif de l'association est d'introduire cette technologie auprès des 34.000 habitants des 17 villages de la zone insulaire du Delta du Saloum. Afin de lancer le processus, l'association va former 17 femmes référentes qui seront alors chargées de former 1000 autres femmes en échange d'une rémunération ; ces autres femmes pourront elles aussi prendre l'initiative de transmettre ce savoir et cette technologie.

De manière analogue que pour la partie relative au reboisement de la mangrove, nous nous proposons d'évaluer les émissions non-émises grâce à l'introduction des F3PAs ainsi que les revenus liés aux crédits carbones qui pourraient y être associés.

⁴ Image du F3PA issue du *CDM Monitoring report (version 05.1) : Efficient cookstoves in Burkina Faso* par l'association Tiipaalga.

3. Méthodologies d'inventaire

3.1. La comptabilité carbone

La comptabilité carbone repose sur l'identification des sources et le calcul des émissions de GES pour une entité (État, association, entreprise, etc.), un produit (analyse du cycle de vie) ou un projet pour une période donnée. L'évaluation des émissions se fait sur base d'estimations de données d'activités (données primaires telles que la consommation d'électricité ou de carburant) et de facteurs d'émissions établis par une instance légitime (e.g. données secondaires évaluées par le GIEC) et associés à un degré d'incertitude. Il ne s'agit pas d'une science exacte mais plutôt d'une estimation raisonnée qui permet d'identifier les sources d'émissions les plus importantes. Lors d'un inventaire, il est essentiel de définir le périmètre opérationnel, ou scope, afin de préciser les activités, services et produits couverts par l'estimation. Le périmètre opérationnel peut être divisé en 3 (Huang, 2009):

- **Scope 1** : englobe les émissions directes de GES provenant de sources qui sont détenues ou contrôlées par l'organisation déclarante.
Exemples : combustion de mazout dans une chaudière, méthane produit par les bovins d'un agriculteur, ...
- **Scope 2** : comptabilise les émissions indirectes associées à la production d'électricité ou de chaleur importée ou achetée, c'est-à-dire non directement émise sur le territoire étudié.
Exemples : électricité fournie produite par une centrale à charbon, des éoliennes, ...
- **Scope 3** : comprend les autres émissions de GES résultant des activités mais qui proviennent de sources appartenant à un tiers.
Exemples : déplacements professionnels, productions des matériaux et produits achetés, ...

Dans le cadre de l'inventaire proposé dans ce travail, nous nous limiterons au calcul des émissions reprises dans le scope 1. En effet, seules seront estimées les émissions non-émises de par le remplacement des foyers traditionnels ainsi que le CO₂ séquestré au fil des années par les

palétuviers plantés. Cette estimation se fait sur base d'un scénario *baseline*, c'est à dire qui se déroulerait dans les conditions normales en l'absence du projet.

3.2. Le marché volontaire

Outre les mécanismes de bourse du carbone qui contraignent les États signataires du PK à des réglementations, il existe un marché du carbone parallèle sur lequel il est possible d'échanger des crédits carbone. Ce marché dit « volontaire » est destiné à tous les acteurs (entreprises, particuliers, ...) non contraints mais désireux de compenser leur empreinte carbone⁵. Ces crédits financent des projets certifiés situés dans les pays en voie de développement. Le marché volontaire n'est soumis à aucune réglementation internationale mais des standards ont été édifiés afin d'assurer des méthodologies de calculs des réductions d'émissions crédibles et vérifiables. Les deux labels les plus sérieux à l'heure actuelle sont le Voluntary Gold Standard (VGS) et le Verified Carbon Standard (VCS) ; ils garantissent aux acheteurs que leurs émissions sont compensées en s'inspirant des exigences prodiguées par les Mécanismes du Développement Propre (MDP) établis par l'ONU. Sur le marché volontaire, le prix de la tonne eqCO₂ fluctue d'année en année et dépend du type de projet qui participe à la réduction. Un tableau (Figure 8), issu de (Donofrio & al, 2019) , reprend les quantités et prix des tonnes eqCO₂ en fonction du type de projet au cours des années 2017 et 2018.

⁵ Rappelons toutefois que l'achat de crédits carbone ne fait sens que lorsque des efforts ont été entrepris envers la réduction des émissions internes et qu'il s'agit de compenser la part « incompressible » des émissions restantes.

	2017			2018		
	VOLUME MtCO ₂ e	AVERAGE PRICE	VALUE	VOLUME MtCO ₂ e	AVERAGE PRICE	VALUE
FORESTRY AND LAND USE	16.6	\$3.4	\$63.4 M	50.7	\$3.2	\$171.9 M
RENEWABLE ENERGY	16.8	\$1.9	\$31.5 M	23.8	\$1.7	\$40.9 M
WASTE DISPOSAL	3.7	\$2.0	\$7.4 M	4.5	\$2.2	\$10.0 M
HOUSEHOLD DEVICES	2.3	\$5.0	\$11.8 M	6.1	\$4.8	\$29.5 M
CHEMICAL PROCESSES/ INDUSTRIAL MANUFACTURING	2.6	\$1.9	\$4.9 M	2.5	\$3.1	\$7.9 M
ENERGY EFFICIENCY/ FUEL SWITCHING	1.1	\$2.1	\$3.3 M	2.8	\$2.8	\$7.8 M
TRANSPORTATION	0.1	\$2.9	\$0.2 M	0.3	\$1.7	\$0.5 M

Figure 8- Volume, prix et valeurs moyennes des différents crédits-carbone échangés en 2017 et 2018 (Donofrio & al, 2019)

Pour éviter toute confusion à ce stade, il est important que de rappeler que le prix de la tonne de CO₂eq sur le marché volontaire est différent de celui utilisé pour les inventaires nationaux utilisant l'approche cadastrale (quotas d'émissions mis en œuvre depuis le PK). Si l'on considère par exemple l'indice boursier du CO₂ European Emissions Allowances, on constate que la tonne s'échange en février 2020 à 25.15€ (Markets Insider, 2020). Cet indice, qui permet d'appliquer la logique du « pollueur-payeur », a subi une nette hausse (200% en 18 mois) et pourrait grimper jusqu'à 35-40€ la tonne dans les prochaines années (Claessens, 2019). Sur le marché volontaire, le prix se base sur le consentement à payer des acteurs soucieux de réduire leur empreinte écologique par le biais de la compensation.

Processus de certification

L'obtention d'une certification auprès d'un label est un processus complexe et coûteux. En effet, l'organisme responsable du projet à créditer doit payer des redevances basées sur des coûts fixes et variables en fonction du nombre de crédits générés. Le processus de certification s'avère souvent lent et les démarches à effectuer sont nombreuses. Il n'est pas rare qu'un délai important survienne entre la demande de certification auprès de l'organisme tiers et l'obtention des premiers crédits carbone. Ce délai est souvent rédhibitoire pour les organismes responsables de

projets. Ces derniers doivent supporter toute une série de couts fixes associés à la certification sans pour autant collecter les financements associés à leurs émissions non-émises ou séquestrées. Pour obtenir la certification, le projet doit répondre aux conditions suivantes :

- Il ne peut être « additionnel », c'est-à-dire qu'il n'aurait pu voir le jour sans ce financement
- Une vérification des émissions évitées ou capturées doit être établie sur base d'un monitoring de paramètres liés au projet
- Une garantie de l'unicité des crédits carbone octroyés (1 crédit octroyé = 1 t eqCO₂ évitée)

Toutes ces conditions ainsi que les méthodes de calculs sont reprises dans les documents de méthodologie d'inventaire.

3.3. Méthodologie d'inventaire F3PA

Afin de quantifier les émissions non émises grâce à l'introduction des foyers améliorés dans 17 villages de la région insulaire du Delta du Sine Saloum, la méthodologie « *The Gold Standard Simplified Methodology for Efficient Cookstoves (vers. Feb. 2013)* » est utilisée. Cette méthodologie peut être employée car au vu de la taille du projet et de la population ciblée, ce dernier sera dans un premier temps considéré comme un *Standalone Micro-scale project* ; c'est-à-dire un projet dont la réduction d'émissions ne dépassera pas 10.000 t eqCO₂ par an⁶. Dans un second temps, si le projet a pour vocation de se développer dans une zone plus importante et de ce fait dépasser les réductions précitées, la faisabilité de passer en *Micro-scale Programme* pourrait être étudiée⁷. Ce type de programme correspond à un agglomérat de plusieurs projets de type *Micro-scale*. Dans ce cas de figure, il est notamment question d'ajouter un facteur de réduction (0.95) aux émissions non émises pour prendre en considération les fuites (*leakage*) dues à la proportion de biomasse non-renouvelable préservée grâce au projet. Le calcul des réductions d'émissions dans le cas d'un *Standalone Micro-scale project* est repris ci-après de manière succincte. Pour plus de détails, se référer à la méthodologie.

⁶ Pour plus d'informations concernant les modalités des Standalone Micro-scale Project se référer à *Gold Standard : Annex T- Standalone Micro-scale Scheme Rules*.

⁷ Pour plus d'informations concernant les modalités des Standalone Micro-scale Programme se référer à *Gold Standard : Annex U –Micro-scale Programme Rules*.

Calcul des réductions d'émissions

Conformément à la méthodologie, les réductions d'émissions de CO₂ se calculent de la manière suivante :

$$ER_y = \sum N_{P,y} * P_y * U_{P,y} * (f_{NRB,b,y} * EF_{b,fuel,CO2} + EF_{b,fuel,non_CO2}) * (1 - DF_{b,Stove,y})$$

Équation 1

ER_y	Réduction d'émissions générée l'année y (t eqCO ₂ /an)
$N_{P,y}$	Nombre de F3PAs de chaque groupe d'âge opérationnel l'année y
P_y	Quantité de biomasse préservée l'année y (tonnes par ménage l'année y)
$U_{P,y}$	Taux d'utilisation des F3PAs l'année y , sur base d'un taux d'adoption et taux d'abandon établis grâce à des enquêtes d'utilisation (fraction). Dans le cadre de ce projet, ces taux d'utilisation seront considérés comme étant similaire à ceux monitorés lors d'un projet similaire déjà mis en place par l'association <i>Tipaalga</i> au Burkina Faso (Tiipaalga, 2017).
$f_{NRB,b,y}$	Fraction de biomasse non-renouvelable dans la région étudiée. Pour le Sénégal, ce chiffre est de 85% (CDM UNFCCC, 2020)
$EF_{b,fuel,CO2}$	Facteur d'émissions CO ₂ provenant du bois de chauffe (par défaut 1.747t eqCO ₂ / tonne de bois)
$EF_{b,fuel,non_CO2}$	Facteur d'émissions non-CO ₂ provenant du bois de chauffe (par défaut 0.530t eqCO ₂ / tonne de bois)
$DF_{b,Stove,y}$	Taux d'utilisation du foyer <i>baseline</i> (F3PT) pendant l'année y . Dans le cadre de projet, une estimation raisonnée de ce facteur est choisie (inspirée des résultats existant auprès de projets des associations <i>Tipaalga</i> et <i>Ecobénin</i>). Pour la première année, le taux d'utilisation du foyer <i>baseline</i> est fixée à 2%, en croissance de 2% par an jusqu'à l'âge à la 5 ^{ème} année.

Tableau 1

Afin de déterminer la quantité de bois préservée P_y , la formule suivante est utilisée :

$$P_y = B_{b,y} * \left(1 - \frac{\eta_b}{\eta_{p,y}}\right) \quad \text{Équation 2}$$

$B_{b,y}$	Quantité de bois consommée dans le scénario <i>baseline</i> durant l'année y (tonne/ménage/an). Il existe trois options afin de déterminer cette valeur : l'utilisation de données historiques, réalisation d'un sondage auprès des ménages ou utiliser le niveau de service minimal. La dernière option sera considérée pour ce projet i.e. 0.5 tonne de bois par personne par an (Gold Standard, 2013).
η_b	Efficacité du F3PA l'année y (pourcentage). Cette valeur est déterminée compte tenu d'expériences réalisées selon une méthodologie élaborée (water boiling test-WBT), un taux de perte d'efficacité (par défaut 1% par an) ainsi que des facteurs d'incertitude. Dans le cadre de ce projet, l'efficacité énergétique initiale du modèle de F3PA est estimée à 23.4% (Tanoh, Kpai, Sawadogo, & Sidibe, 2015).
$\eta_{p,y}$	Efficacité du F3PT (pourcentage). Une valeur par défaut de 10% peut être utilisée (Gold Standard, 2013).

Tableau 2

Méthodologie de monitoring

Afin de prouver la légitimité du projet à recevoir des crédits carbone, un monitoring annuel doit être effectué sur un échantillon représentatif de foyers ; si la population visée est supérieure à 1000 personnes, l'échantillon minimum doit être d'au moins 100. Un registre électronique des ventes de foyers améliorés, comprenant la date et lieu de vente, le modèle de F3PA, les noms et adresses des utilisateurs finaux, doit aussi être mis à jour afin de déterminer le nombre de foyers vendus $N_{p,y}$. En plus du registre des ventes, trois autres paramètres doivent être suivis grâce à des enquêtes réalisées par les agents de l'association auprès des ménages :

- *Le taux d'utilisation $U_{p,y}$* : pour chaque groupe d'âge de F3PA vendu (0 à 5 ans maximum), un taux d'utilisation des foyers est estimé ;

- *Le facteur de dépréciation de l'efficacité des F3PAs DF_n* : de par leur utilisation au fil des années, l'efficacité des foyers décroît. Si ce facteur n'est pas mesuré précisément, une dépréciation de 1% d'efficacité par an est retenue ;
- *Taux d'utilisation du foyer baseline $DF_{b,Stove,y}$* : pour chaque groupe d'âge, ce facteur sera évalué sur base du nombre de repas cuisinés en utilisant les foyers traditionnels.

Afin de réaliser le suivi de ces paramètres, deux questionnaires d'enquête sont fournis dans la méthodologie. Ce suivi constitue des couts fixes qui seront considérés plus loin dans l'analyse (Section 4.1).

3.4. Méthodologie d'inventaire reboisement de mangrove

La méthodologie proposée pour évaluer la séquestration de CO₂ par les palétuviers plantés est basée sur le document *AR-AMS0003 : Simplified baseline and monitoring methodology for small scale CDM afforestation and reforestation project activities implemented on wetlands*. L'outil méthodologique principal utilisé pour l'évaluation est: *AR-TOOL14: Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities*. Les critères d'application de cette méthodologie et l'ensemble des calculs permettant l'évaluation des réductions de GES sont repris dans ces documents ; ils ne seront pas tous mentionnés ou explicités dans la suite de ce travail.

Estimation du carbone séquestré par la mangrove

D'après la méthodologie, le stock net de carbone anthropique stocké par la biomasse l'année t est estimé comme suit :

$$\Delta C_{AR-CDM,t} = \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t \quad \text{Équation 3}$$

$\Delta C_{AR-CDM,t}$	Stock net de GES anthropiques séquestré l'année t grâce à l'établissement du projet (t eqCO ₂)
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	Élimination de GES par la mangrove plantée lors du projet, l'année t (t eqCO ₂)
$\Delta C_{BSL,t}$	Élimination de GES par la mangrove en l'absence du projet (scénario baseline), l'année t (t eqCO ₂)

LK_t	Émissions de GES dues aux fuites d'émissions (<i>leakage</i>), l'année t (t eqCO ₂)
--------	---

Tableau 3

Dans le cadre de ce projet, le boisement se fera sur des zones vierges de plantations. Dès lors, la séquestration carbone lors du scénario baseline est nulle ; l'entière des émissions capturées sera imputable au projet⁸. De même, étant donné qu'aucune activité agricole n'est actuellement réalisée dans la zone à boiser, les émissions dues au leakage sont considérées comme nulles.

Le calcul du stock de carbone dans la biomasse des arbres se fait comme suit :

$$C_{TREE} = \frac{44}{12} * CF_{TREE} * A * b_{TREE} \quad \text{Équation 4}$$

CF_{TREE}	Fraction de carbone dans la biomasse des arbres (t C/t d.m ⁹). Une valeur par défaut de 0.47 doit être utilisée, sauf information contraire vérifiable (McGroddy & al., 2004).
A	Somme des différentes aires reboisées (ha)
b_{TREE}	Biomasse moyenne des arbres par hectare reboisé (t d.m./ha)

Tableau 4

En outre, il faut ajouter le stock de carbone provenant des sols (appellation anglaise *soil organic carbon* ou SOC) qui est évalué comme suit :

$$SOC_t = \frac{44}{12} * A * dSOC_t \quad \text{Équation 5}$$

$dSOC_t$	Taux de variation dans les SOC, l'année t (t C/ha). Les valeurs suivantes sont utilisées sur base de (Hiraishi & al., 2013) :
----------	---

⁸ Si à l'avenir cette hypothèse devait être révisée, le couvert forestier dans le scénario baseline (pourcentage) devra être évalué à l'aide de méthodes telles que l'utilisation d'images prises lors de survols de la zone par un drone. Toutefois, si ce pourcentage dépasse les 20%, la méthodologie ne sera plus d'application.

⁹ Tonne of dry matter.

	• $dSOC_t = 1.3 \text{ t C/ha/yr}^{10}$ pour les 20 premières années suivant la plantations $t_{plant} \leq t \leq t_{plant} + 20yr$; • $dSOC_t = 0 \text{ t C/ha/yr}$ pour $t > t_{plant} + 20yr$
--	--

Tableau 5

Le bois mort constitue aussi un puits carbone dont la contribution au total peut être évaluée de manière ex-ante en utilisant l'outil *Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks in dead wood and litter in A/R CDM project activities*. Dans le cadre de ce travail, le choix a été fait de ne pas le considérer pour l'inventaire. En effet, en analysant des projets précédents similaires (Oceanium, 2010) et (Agresta S. Coop., 2014), cette contribution est soit délibérément négligée ou contribue peu au total (moins de 1%).

Les concepts théoriques et hypothèses étant désormais présentés, la section suivante présente l'estimation ex-ante des réductions d'émissions des deux projets.

4. Estimation ex-ante des réductions d'émissions

Les résultats des estimations sont présentés ci-après de manière succincte et concise en utilisant les concepts et équations présentés précédemment (Section 3). L'objectif final est d'estimer les crédits carbone a priori imputables au projet ainsi qu'une estimation des coûts associés à la certification par un organisme tiers. Il sera dès lors possible d'analyser s'il s'avère rentable pour l'association Nébédé de faire les démarches afin d'obtenir la certification.

4.1. Introduction des foyers améliorés

Évaluation des réductions d'émissions

À terme, le projet vise à équiper un maximum de la population de 17 villages de la région de Delta du Sine Saloum (34.000 habitants) en F3PAs. Le ménage moyen dans la région du Fatick se

¹⁰ À noter que le facteur 1.3 t C/ha/yr est nettement supérieur à la valeur à utiliser par défaut ; en l'absence d'information contraire, une valeur de 0.5 t C/ha/yr peut être utilisée. Cela reflète la capacité importante des mangroves à stocker du « carbone bleu » (cf. Section 1.2. Recherche de solutions , point sur le reboisement des mangroves). Comme présenté plus loin, l'impact du SOC est d'une importance non négligeable sur les résultats.

compose d'environ 10 personnes¹¹ (ANSD, 2014). En équipant 2 foyers par ménage, l'objectif est d'avoir au maximum 6800 F3PAs fonctionnels tout au long de la durée du projet (estimée à 10 ans). La durée de vie des F3PAs étant évaluée à 5 ans, ces derniers devront dans les calculs être systématiquement remplacés à cette échéance. La seule directive pour le déploiement du projet est l'introduction dès la première année de 1000 F3PAs dans la région. Pour la suite, le nombre de foyers introduits est basé sur une estimation raisonnée permettant de se rapprocher du maximum 6800 foyers fonctionnels chaque année, tout en assurant de ne pas dépasser le plafond des 10.000 t eqCO₂ par an i.e. la limite d'éligibilité d'un *Standalone Micro-scale project*. Le plan d'implémentation du projet est repris dans le Tableau 6.

Project Implementation plan				
Year	No of introduced cookstoves	No of new equipped households	No of equipped households	No of operating cookstoves
2021	1000	500	500	1000
2022	1800	900	1400	2800
2023	1000	500	1900	3800
2024	500	250	2150	4300
2025	500	250	2400	4800
2026	1000	500	2400	4800
2027	1000	500	2000	4000
2028	1000	500	2000	4000
2029	1000	500	2250	4500
2030	1000	500	2500	5000

Tableau 6- Plan d'implémentation du projet

Sur base de ce plan d'implémentation, les réductions d'émissions ont été évaluées en reprenant les considérations de la section 3.3. Les résultats sont présentés dans le Tableau 7. Les valeurs en reprises en vert mettent en évidence les années où le plafond des 10.000 t eqCO₂ par an est dépassé.

¹¹ Cette valeur est considérable par rapport à d'autres projets (7 pers./ménage environ) et sera donc prise avec précaution (cf. Section 5.1). Une valeur élevée pour la taille des foyers est profitable car la réduction de bois par ménage sera significative.

Emission reduction - Summary				
Year	Emission reduction tCO ₂ /year	Leakage adjustment tCO ₂ /year	Net Emission reduction tCO ₂ /year	Emission reduction per household tCO ₂ /year
2021	2692	0	2692	5.38
2022	7330	0	7330	5.24
2023	9321	0	9321	4.91
2024	9807	0	9807	4.56
2025	10302	0	10302	4.29
2026	12166	0	12166	5.07
2027	12401	0	12401	6.20
2028	11114	0	11114	5.56
2029	11241	0	11241	5.00
2030	12136	0	12136	4.85
Total (tCO ₂)			98508.6	
Annual emission reduction (tCO ₂ /year)			9850.9	

Tableau 7- Résumé des réductions d'émissions générées par le projet

Les estimations ex-ante mènent à une réduction totale de 98.509 t eqCO₂ par rapport au scénario baseline. On constate que la limite d'éligibilité pour un projet de type *Micro-Scale* (10.000 t eqCO₂/an) est dépassée lors de la seconde moitié du projet ce qui ne permet pas de récupérer l'intégralité des crédits carbone émis.

Évaluation des coûts liés à la certification

Le standard choisi pour faire certifier ce projet est le *Gold Standard*. Cet organisation fait partie des plus importantes en matière de certification de projets carbone ; ils sont notamment à l'origine de la méthodologie relative à l'introduction de foyers améliorés utilisée pour ce projet¹².

Les coûts relatifs à la certification sont multiples :

- Coûts relatifs à la labélisation *Gold Standard* : ensemble de coûts fixes relatifs à l'inscription, les redevances annuelles, frais d'examens, coûts variables en fonction des crédits émis, etc.
- Coûts annexes relatifs à la certification : coûts de monitoring, budget alloué pour la réunion des parties prenantes, tests d'efficacité des foyers en laboratoire, frais de consultance, etc.

L'estimation des différents coûts est reprise dans le Tableau 10 de l'Annexe 1.

¹² *The Gold Standard Simplified Methodology for Efficient Cookstoves (vers. Feb. 2013)*

Analyse des couts et revenus

Les estimations ex-ante des crédits carbone imputables au projet et l'évaluation des couts associés permettent d'établir une estimation des couts et revenus liés à la certification du projet sur sa durée de vie. L'analyse financière ventilée liée à la certification du projet est présentée sur le graphe de la Figure 9 réalisé à partir des valeurs reprises dans le Tableau 8. Il faut cependant insister sur le fait qu'il s'agit bien d'une analyse basée sur la certification du projet et non le projet en lui-même ; ces couts étant considérés comme égaux qu'il y ait ou non certification.

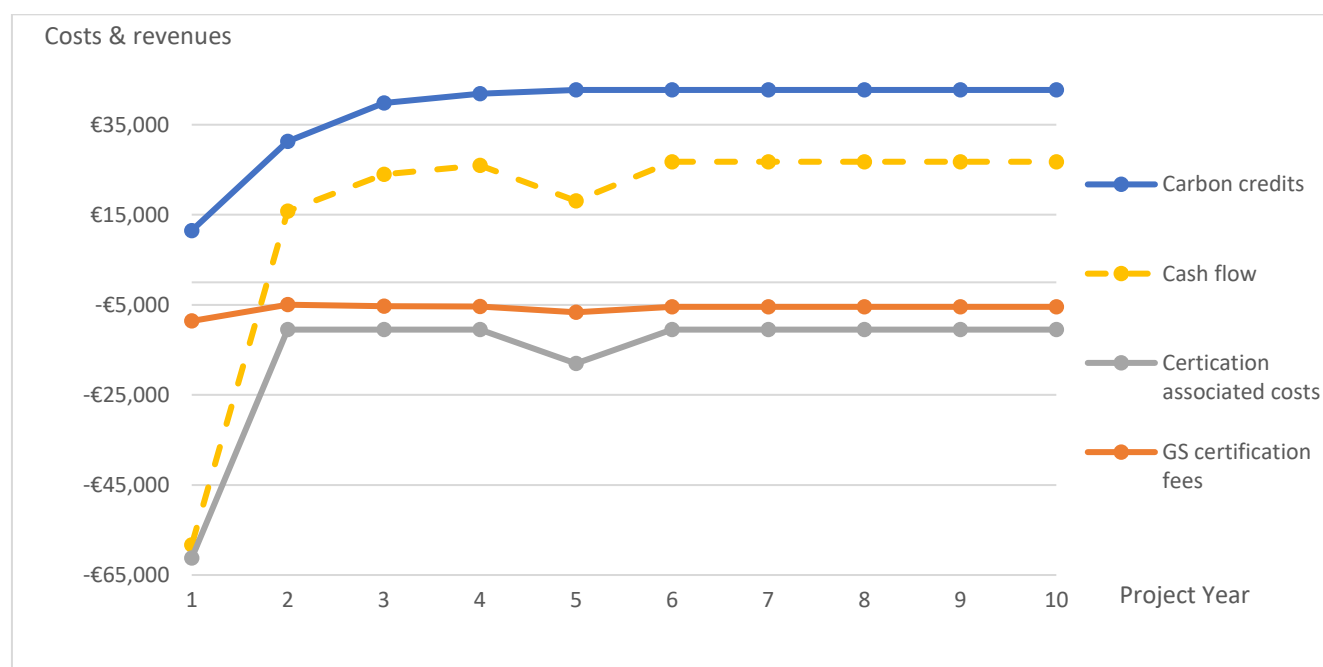


Figure 9 Analyse financière ventilée de la certification du projet F3PA

Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VER	2692.1	7329.9	9321.1	9806.5	10302.5	12165.9	12400.6	11113.6	11240.7	12135.6
VER max	2692.1	7329.9	9321.1	9806.5	10000.0	10000.0	10000.0	10000.0	10000.0	10000.0
Carbon credits	€ 11,500.52	€ 31,313.34	€ 39,819.78	€ 41,893.48	€ 42,720.00	€ 42,720.00	€ 42,720.00	€ 42,720.00	€ 42,720.00	€ 42,720.00
GS certification fees	-€ 8,588.50	-€ 4,972.13	-€ 5,319.47	-€ 5,404.15	-€ 6,628.05	-€ 5,437.90	-€ 5,437.90	-€ 5,437.90	-€ 5,437.90	-€ 5,437.90
Certication associated costs	-€ 61,250.00	-€ 10,500.00	-€ 10,500.00	-€ 10,500.00	-€ 18,000.00	-€ 10,500.00	-€ 10,500.00	-€ 10,500.00	-€ 10,500.00	-€ 10,500.00
Cash flow	-€ 58,337.98	€ 15,841.21	€ 24,000.31	€ 25,989.33	€ 18,091.95	€ 26,782.10	€ 26,782.10	€ 26,782.10	€ 26,782.10	€ 26,782.10
NPV	€ 159,495.33									

Tableau 8- Récapitulatif des couts et revenus liés à la certification du projet F3PA

L'analyse de ce graphe permet d'établir les conclusions suivantes :

- Les couts liés à la mise en place de la certification du projet l'année 1 sont largement supérieurs aux couts devant être supportés lors des années suivantes. Ces couts supérieurs reflètent les frais élevés demandés par l'organisme *Gold Standard* afin de faire valider le projet ainsi que les frais annexes liés au lancement du projet (tests en laboratoire, organisation de la réunion des parties prenantes, consultance, etc.). Ces couts initiaux élevés justifient la prudence qu'émettent généralement les associations à l'égard de la mise en place de projets carbone certifiés.
- Dès la deuxième année, la certification du projet génère des flux monétaires positifs. En effet, les couts liés à la certification baissent de façon très nette et les crédits carbone générés augmentent à mesure que davantage de F3PAs sont installés et/ou remplacés.
- Les résultats présentés ne justifient pas le fait de reconsidérer le projet en tant que *Micro-scale Program of Activities (PoA)*. La capacité maximale de production de F3PAs, la taille de la population visée ainsi que les frais supplémentaires lié à un PoA sont autant d'éléments qui confortent l'idée de rester sur un projet de type *Standalone Micro-scale* même si l'objectif initial des 6800 F3PAs n'est pas atteint. De plus, il ne faut pas oublier que les estimations ex-ante présentent un degré d'incertitude élevé (cf. Section 5.3).
- La certification du projet est créatrice de valeur : la somme des flux monétaires pour les 10 années avoisine 160.000€. Le délai de récupération simple (DRS) est de 4 ans.

4.2. Reboisement de mangrove

Les estimations ex-ante pour le projet de reboisement de la mangrove requièrent plus de considérations par rapport à celles liées à l'introduction de F3PAs. Ceci est une conséquence directe de la nature complexe des phénomènes de séquestration de carbone par la biomasse. Dans le cadre de ce travail, nous nous contenterons de présenter les points essentiels afin de ne pas complexifier inutilement le propos.

Évaluation des réductions d'émissions

Pour rappel, l'objectif de l'association Nébédai est de planter 480.000 palétuviers rouges (ou *rhizophora mangle*) en l'espace d'un an. Lors de la plantation, les propagules sont installées selon un espacement de 1m sur 2m, soit 5000 propagules à l'hectare. Si cet espacement est respecté pour l'ensemble des plantations, la surface totale de la nouvelle mangrove couvrira 96ha.

L'enjeu principal pour estimer les émissions captées par la mangrove reboisée consiste en l'évaluation du paramètre b_{TREE} qui caractérise la biomasse moyenne des arbres par hectare d'aire reboisée (t d.m./ha) (Équation 4, Section 3.4). Une première estimation de ce paramètre basée sur des données de terrain récoltées en janvier 2020 a été établie. Sur base des diamètres moyens des arbres et de l'année de plantation des placettes auxquelles ils appartiennent, un taux de croissance moyen a été évalué sur base linéaire. Cette première approche naïve s'est avérée infructueuse car menant à des taux de croissance bien inférieurs à ceux observés en pratique. Une seconde approche plus rigoureuse a été poursuivie sur base de relations scientifiques établies et de données de terrains de projets antérieurs. Le modèle de croissance retenu pour le DBH (diamètre à hauteur de poitrine) est celui proposé par (Pienaar, 1973) donné par l'équation suivante et représenté à la Figure 10.

$$DBH = 8.3 * (1 - \exp(-0.12 * Age))^{4.5} \quad \text{Equation 1}$$

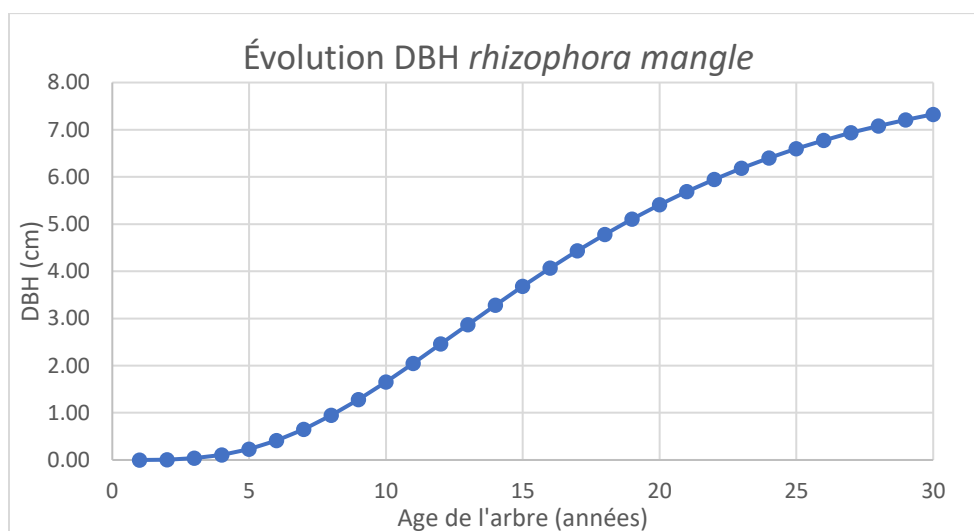


Figure 10 Estimation de la croissance du DBH des palétuviers rouges (Pienaar, 1973)

Sur base de ce taux de croissance, la biomasse aérienne (ou *Above Ground Biomass*- AGB) est évaluée via la relation allométrique suivante (Komiya, 2008):

$$\log_{10} AGB = 1.731 \log_{10}(DBH) - 0.112 \quad \text{Equation 2}$$

Sur base du rapport racines-pousses ou *root-shoot ratio* R_j (évalué en utilisant l'Équation 3), l'évolution temporelle du DBH et la relation allométrique précédente, la biomasse totale peut être calculée sur base annuelle (Équation 4).

$$R_t = \frac{\exp(-1.085 + 0.9256 * \ln(AGB_t))}{AGB_t} \text{ Equation 3}$$

$$B_t = AGB_t * (1 + R_t) \text{ Equation 4}$$

À ce stade, deux éléments additionnels doivent encore être pris en compte afin de compléter l'estimation (Agresta S. Coop., 2014). Tout d'abord, pour tenir compte du fait que tous les arbres plantés n'atteindront pas la maturité, il faut ajouter un taux de mortalité pour ajuster l'estimation les premières années. Sur base de taux de mortalité ajustés annuellement, il est estimé que 40% des arbres initialement plantés atteindront 30 ans. Un deuxième facteur d'ajustement a été pris en considération sur base d'estimations ex-ante relatives à d'anciens projets. Pour tenir compte d'une marge de sécurité, les estimations finales de la biomasse totale de la plantation ont été revues à la baisse de moitié. Grâce à ces considérations, l'évolution temporelle de la biomasse a été calculée ; les résultats sont repris dans le Tableau 11 de l'Annexe 2.

Finalement, les émissions de GES séquestrées peuvent être calculées sur base des hypothèses et équations présentées à la Section 3.4. Les résultats sont repris dans le Tableau 9 et présentés sur la Figure 11¹³. Sur ce graphe, on constate que d'après les estimations les émissions séquestrées sur base annuelle restent en deçà des 60.000 t eqCO₂ par an ce qui justifie l'éligibilité du projet en tant que *Small-scale Project*. On remarque aussi que la séquestration de GES par la mangrove n'est pas effective les premières années ; ce qui justifie le choix de l'horizon du projet pour une période de 30 ans. À l'instar de ce qui a été fait pour le projet d'introduction des F3PAs, une analyse des couts et revenus pour le projet de reforestation de mangrove est présentée à la section suivante.

¹³ Insistons une fois de plus ici sur l'impact du SOC sur les résultats de séquestration.

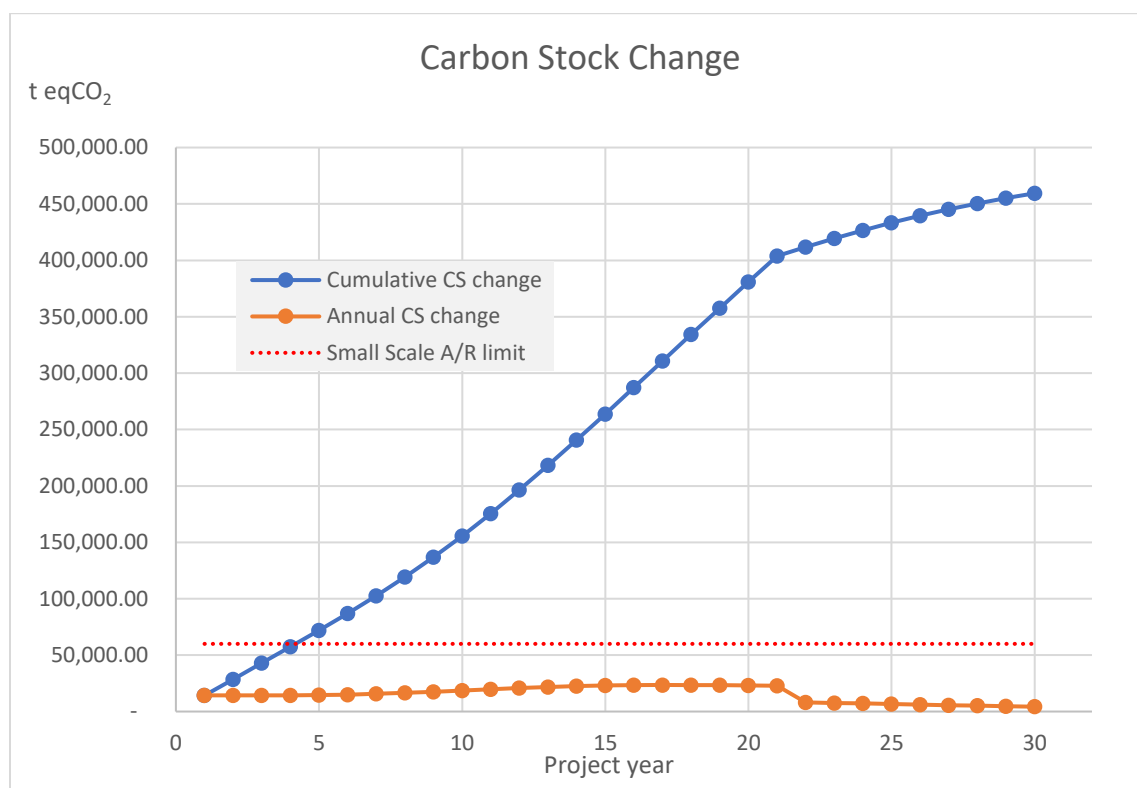


Figure 11 Évolution du stock de carbone dans les 96 ha de plantations

Evolution of GHG removals		Tree biomass		Soil organic Carbon Pool		Actual net GHG removals	
Project year		Annual CS change	Cumulative CS change	Annual CS change	Cumulative CS change	Annual CS change	Cumulative CS change
		t eqCO ₂ yr ⁻¹	t eqCO ₂	t eqCO ₂ yr ⁻¹	t eqCO ₂	t eqCO ₂ yr ⁻¹	t eqCO ₂
	1	0.00	0.00	457.6	457.6	457.60	457.60
	2	0.10	0.10	457.6	915.2	457.70	915.30
	3	0.99	1.09	457.6	1372.8	458.59	1,373.89
	4	3.99	5.08	457.6	1830.4	461.59	1,835.48
	5	10.51	15.59	457.6	2288	468.11	2,303.59
	6	22.72	38.31	457.6	2745.6	480.32	2,783.91
	7	45.05	83.37	457.6	3203.2	502.65	3,286.57
	8	73.07	156.44	457.6	3660.8	530.67	3,817.24
	9	106.23	262.67	457.6	4118.4	563.83	4,381.07
	10	142.00	404.67	457.6	4576	599.60	4,980.67
	11	177.69	582.36	457.6	5033.6	635.29	5,615.96
	12	210.92	793.28	457.6	5491.2	668.52	6,284.48
	13	239.82	1,033.10	457.6	5948.8	697.42	6,981.90
	14	263.18	1,296.28	457.6	6406.4	720.78	7,702.68
	15	280.42	1,576.70	457.6	6864	738.02	8,440.70
	16	291.48	1,868.18	457.6	7321.6	749.08	9,189.78
	17	296.68	2,164.86	457.6	7779.2	754.28	9,944.06
	18	296.63	2,461.49	457.6	8236.8	754.23	10,698.29
	19	292.07	2,753.56	457.6	8694.4	749.67	11,447.96
	20	283.83	3,037.40	457.6	9152	741.43	12,189.40
	21	272.71	3,310.11	457.6	9609.6	730.31	12,919.71
	22	259.46	3,569.57	0	9609.6	259.46	13,179.17
	23	244.76	3,814.33	0	9609.6	244.76	13,423.93
	24	229.18	4,043.51	0	9609.6	229.18	13,653.11
	25	213.20	4,256.71	0	9609.6	213.20	13,866.31
	26	197.21	4,453.92	0	9609.6	197.21	14,063.52
	27	181.52	4,635.44	0	9609.6	181.52	14,245.04
	28	166.35	4,801.79	0	9609.6	166.35	14,411.39
	29	151.86	4,953.65	0	9609.6	151.86	14,563.25
	30	138.17	5,091.82	0	9609.6	138.17	14,701.42

Tableau 9 Évolution des émissions de GES séquestrées par la mangrove (96 ha de plantations)

Évaluation des couts et revenus liés à la certification

Pour le projet de reboisement, l'organisme certifiant choisi est *Verra* (anciennement *Verified Carbon Standard - VCS*) qui tout comme *Gold Standard* fait partie des standards les plus utilisés. Ce choix arbitraire est justifié par le fait que des projets de reboisement similaires se sont vus certifiés par ce standard. Les différents frais demandés pour la certification par cet organisme sont disponibles sur leur site internet (Verra, 2020) et repris dans le Tableau 12 de l'Annexe 3.

Sur base de l'analyse des couts et revenus liés à la certification, il s'est rapidement avéré que le projet initial (480.000 palétuviers plantés sur 96ha) est loin d'être assez important que pour justifier la certification. À cause des couts fixes importants repris en Annexe 3, la VAN du projet sur une période de 30 ans est de -424.000€. Il a notamment été établi que la surface minimale à replanter, toute chose étant égale par ailleurs, pour avoir une VAN nulle est de 1130 ha, soit près de 12 fois plus que la surface initiale (cf. Section 5.2). À titre indicatif, une analyse financière complète est présentée pour une surface de 3000 ha (15 millions d'arbres). Cette surface choisie de manière arbitraire est toutefois réaliste par rapport à ce qui se voit en pratique dans le cadre de projets de reboisement certifiés.

L'analyse financière ventilée liée à la certification de ce projet fictif est présentée sur le graphe de la Figure 12. L'analyse de ce graphe permet d'établir les conclusions suivantes :

- Les couts survenant la première année du projet sont très élevés par rapport à ceux des années suivantes alors que très peu de crédits carbones sont générés. Ceci est dû aux couts fixes élevés pour la mise en place du projet : ouverture du compte, validation du projet, organisation de la réunion des parties prenantes, etc. Une fois de plus, ces couts élevés dès la mise en place du projet n'incitent pas les organisations à faire certifier leurs projets même si cela permet à terme de générer des financements.
- Comme déjà présenté sur la Figure 10, la croissance des arbres les premières années après la plantation est lente ce qui ne permet pas de fixer d'importantes quantités de carbone. Ce mécanisme, couplé au taux de mortalité important les premières années, induit une quantité très faible de crédits carbones émis en début de projet ; ce qui n'est pas favorable d'un point de vue financier.

- À terme, la certification de ce projet fictif est créatrice de valeur : la somme cumulée des flux financiers sur une période de 30 ans approche les 767.000€. Le délai de récupération simple est de 5 ans.

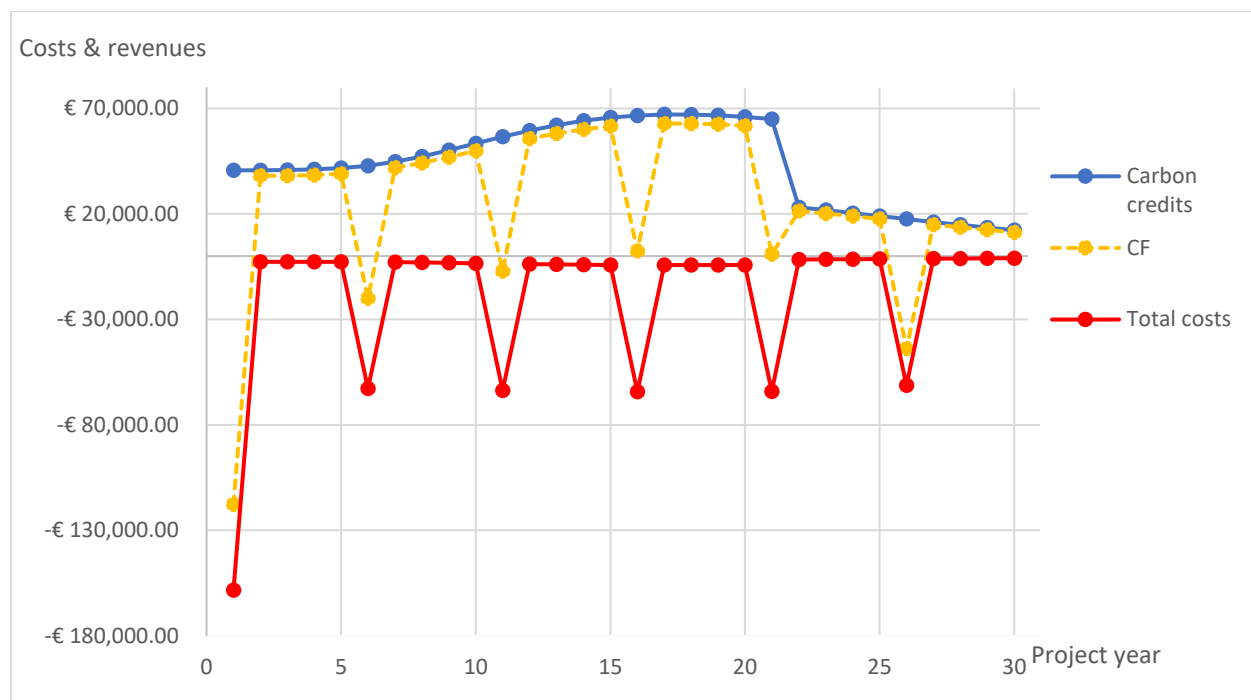


Figure 12 Analyse financière ventilée de la certification du projet fictif reboisement de mangrove sur 3000 ha

5. Discussion des résultats

La section précédente s'intéressait à la présentation des résultats obtenus quant aux estimations des crédits carbone générés et présentait l'analyse financière brièvement commentée liée à la certification des deux projets. Dans cette section, l'objectif est de discuter certaines des hypothèses émises afin d'identifier les limites et paramètres critiques de l'analyse.

5.1. Introduction des foyers améliorés

Nombre de personnes par ménage

Comme déjà évoqué à la section 4.1, l'information selon laquelle la taille moyenne des foyers est de 10 personnes (ANSD, 2014) doit être évaluée avec précaution. En effet, ce paramètre a un impact fort sur les émissions non émises et sa valeur fluctue en fonction des sources utilisées. Pour étudier l'impact de la taille des foyers sur les émissions non émises par le projet, une étude

de sensibilité a été poursuivie ; tout autre paramètre de l'estimation restant égal par ailleurs. La comparaison se fait sur base du scénario initialement établi (section 4.1) avec trois autres scénarios plausibles. Le premier scénario considère une taille de foyer moyenne (ou *average household size HSS*) de 8.7 personnes, ce qui correspond à la taille moyenne d'un ménage sénégalais (United Nations, 2019). Le second scénario se base sur une estimation arbitraire encore revue à la baisse avec 7 personnes par ménage. Le dernier scénario se base sur une HSS de 13.8 personnes, valeur probablement excessive mais récupérée sur (Global Data Lab, 2020) et évaluée comme étant la taille moyenne des ménages dans la région du Fatick. L'impact de ce paramètre sur les émissions non émises et les flux financiers est présenté aux Figure 13 et Figure 14. Si ce paramètre a une influence linéaire sur les émissions non émises (cf. équations), il n'en est pas de même sur les flux financiers. Les couts fixes en début de projets restent sensiblement identiques quel que soit le paramètre. Avec les années, les flux financiers générés sont moins importants pour des ménages plus petits tant que le plafond des 10.000 t eqCO₂ par an n'est pas atteint (éligibilité *Standalone Micro-Scale Project*). Lorsque cette valeur est atteinte, les flux financiers sont bornés. Cette rapide analyse permet de mettre en valeur l'importance de ce paramètre dans les hypothèses de départ.

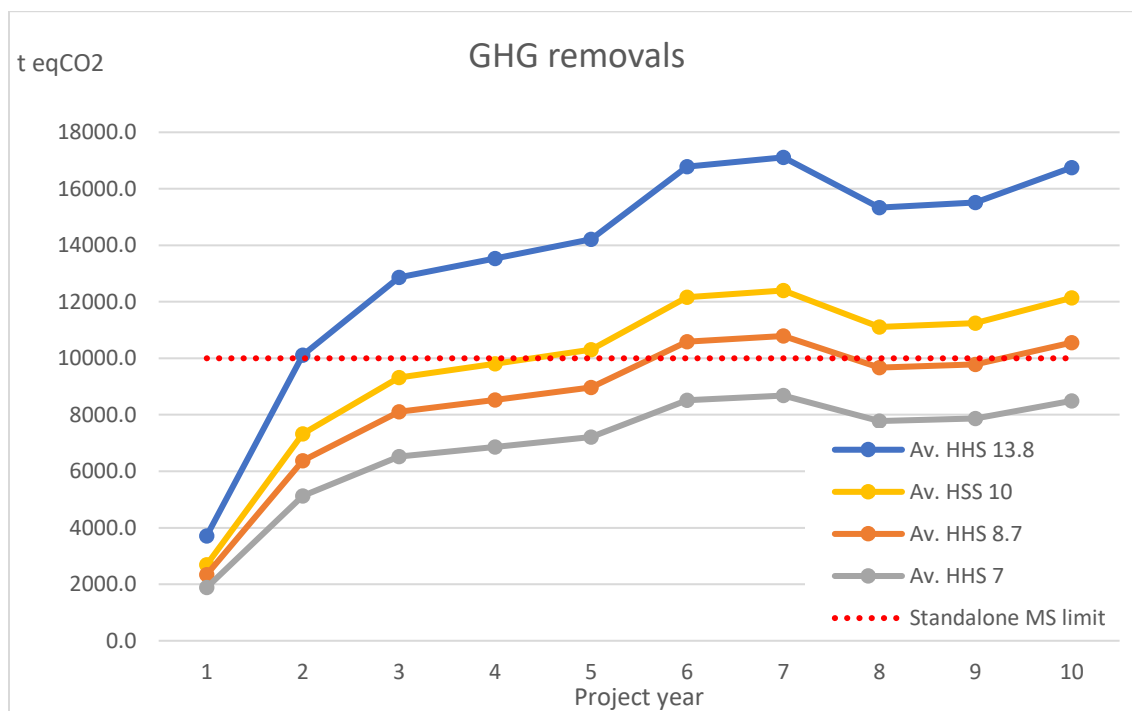


Figure 13 Évolution des émissions de GES non-émises en fonction de la taille des ménages

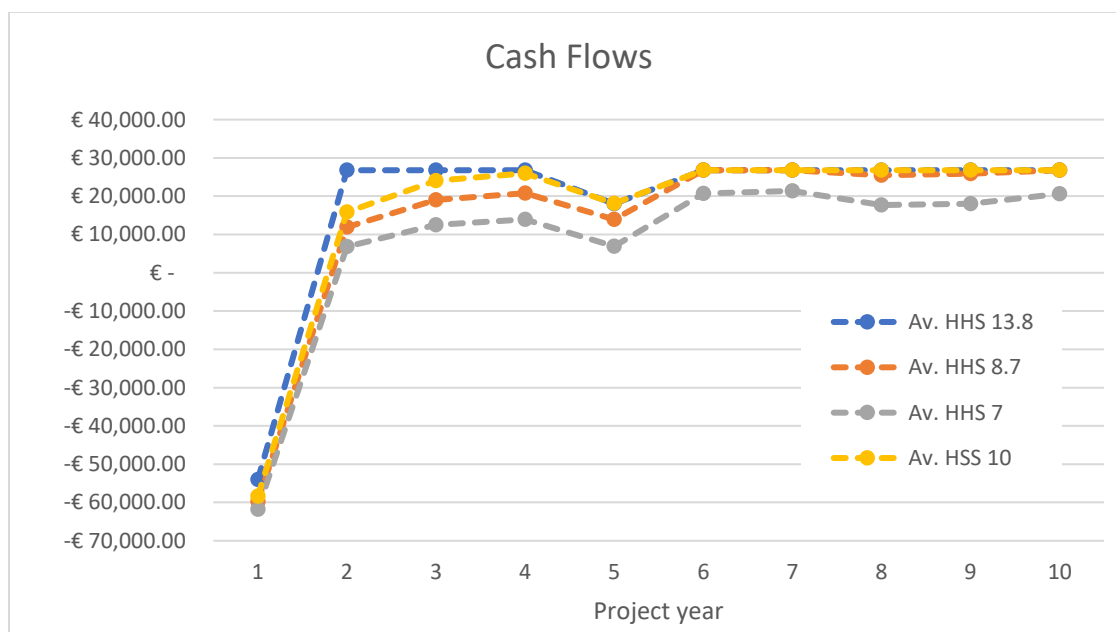


Figure 14 Évolution des flux financiers en fonction de la taille des ménages

Taux d'utilisation

L'influence du paramètre $U_{p,y}$ représentant les taux d'utilisation des F3PAs a été étudiée par le biais de trois scénarios. Ce paramètre reflète le taux d'utilisation des F3PAs de différents groupes d'âge de 1 à 5 ans¹⁴. Le premier est le scénario de base utilisé pour les estimations de la section 4.1. Dans ce dernier, les taux d'utilisations utilisés sont inspirés d'un rapport de monitoring d'un projet existant (estimations ex-post (Tiipaalg, 2017)). Le premier cas (CASE 1), les taux utilisés pour les groupes d'âge de 1 à 5 sont respectivement : 100%, 95%, 85%, 85%, 75% et 70%. Le second cas (CASE 2) est le cas utopique où ce taux est égal à 100% pour chaque année, tout autre paramètre restant inchangé. Dans le dernier cas (CASE 3) une dépréciation de 10% par an est appliquée au taux d'utilisation. L'influence du taux d'utilisation sur les émissions non émises et les flux financiers est présenté sur les Figure 15 et Figure 16. Pour les émissions non émises, on constate que l'écart entre les différents cas se creuse avec les années pour se stabiliser par la suite à mesure que de nouveaux F3PAs sont installés. Pour l'aspect financier, les conclusions sont sensiblement identiques à celles présentées dans l'étude de sensibilité précédente ; à savoir l'importance des frais à décaisser en début de projet, l'impact des coûts fixes sur la durée et le fait que les revenus soit bornés à cause la limite des 10.000 t eqCO₂ non émises par an. Dû à son influence sur les résultats, le suivi méthodique de ce paramètre révèle toute son importance.

¹⁴ Par exemple, si $U_{p,3}$ vaut 80%, cela signifie que 80% des fours mis en place il y a 3 ans sont encore en activité. Pour l'année 1, un taux d'utilisation de 100% est choisi systématiquement. Les causes de variation de ce taux sont multiples ; il se peut que le four ne soit plus utilisé car défaillant, il n'est plus utilisé car la famille a quitté le village, le foyer est non adapté aux habitudes de consommation du ménage, etc.

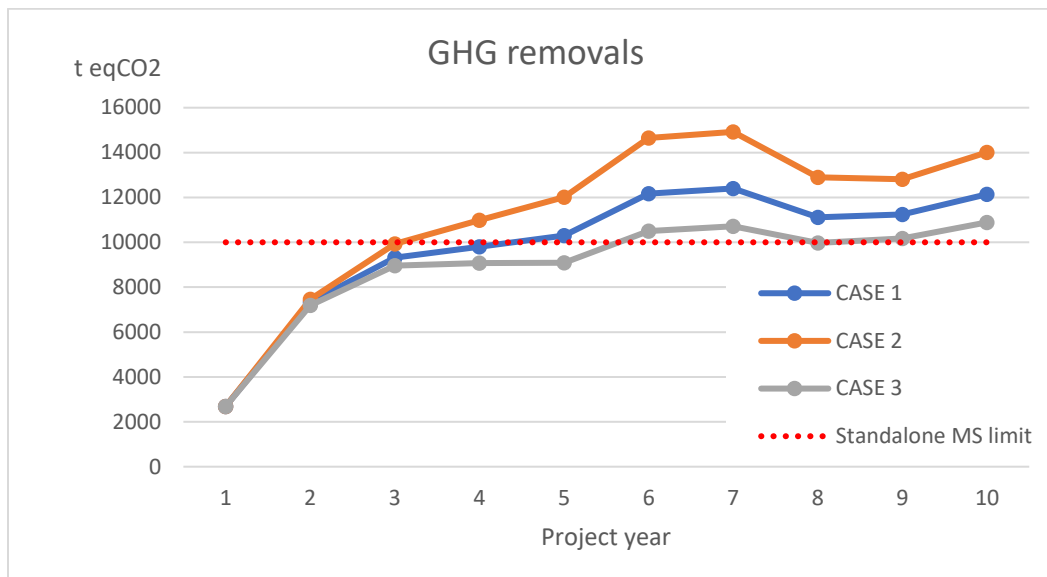


Figure 15 Évolution des émissions non-émises en fonction du taux d'utilisation des F3PAs

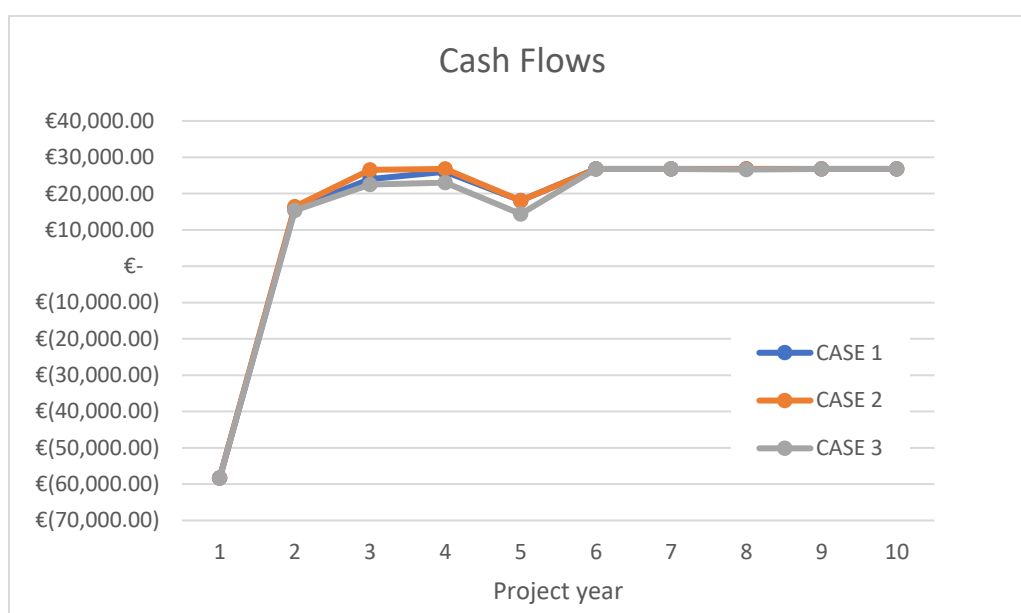


Figure 16 Évolution des flux financiers en fonction du taux d'utilisation des F3PAs

5.2. Reboisement de la mangrove

Nombre d'arbres plantés

Les résultats présentés à la section 4.2 ne sont pas vraiment favorables à la certification du projet de reboisement de l'association Nébédéday. La surface à reboisée (96 ha) est bien trop petite pour justifier un processus de certification. En outre, lors de la première moitié du projet, très peu de

crédits carbone sont générés car la lente croissance des arbres couplée au taux de mortalité élevé ne permettent pas une séquestration importante de carbone. Ces biais inévitables peuvent être compensés par une plantation plus importante d'arbres. Une analyse de l'évolution des émissions séquestrées et des flux financiers en fonction de la taille de la surface reboisée est présentée à la Figure 17. On constate que la surface minimale à planter pour avoir une VAN (ou Net Present Value en anglais) nulle liée à la certification est d'environ 1130 ha, soit près de 12 fois la surface prévue par le projet (96 ha). À ce stade, il est donc contre-indiqué de démarrer un processus de certification auprès de l'organisme Verra. Néanmoins, l'association Nébédjay propose chaque année de replanter toujours plus d'arbres, un des prochains objectifs sera d'en planter 1 million, soit 2 fois plus que proposé dans ce projet. Si leurs ambitions croissantes se maintiennent avec les années, établir un processus de certification ne serait pas à exclure.

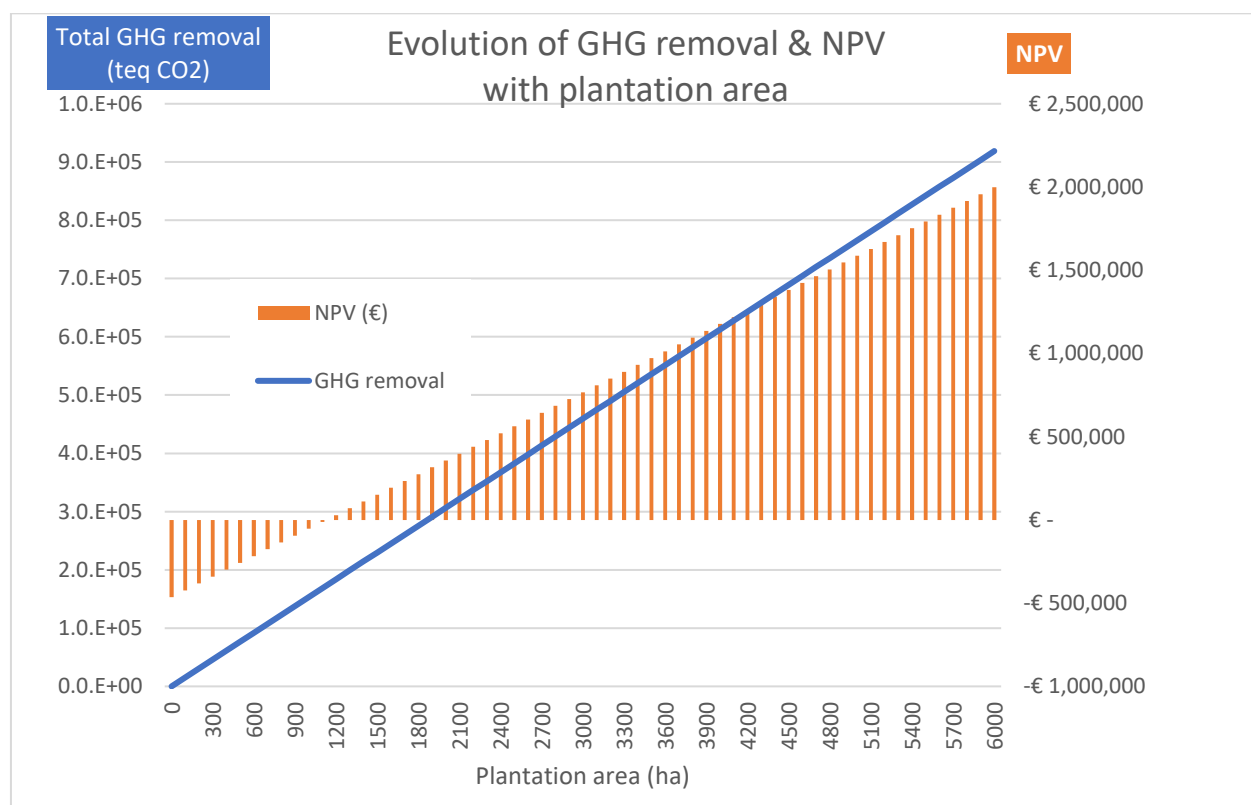


Figure 17 Évolution des flux financiers liés et des émissions séquestrées en fonction de la surface de plantation

Pour conclure cette partie concernant le reboisement, on peut aussi insister sur le fait que le choix de l'emplacement des placettes doit se faire de façon méthodique. En effet, afin de limiter le taux de mortalité et assurer ainsi la pérennité de l'exploitation, le choix de la localisation de la plantation est d'une importance cruciale. Les considérations quant à la nature du sol, la hauteur des marées sur le lieu de plantation, etc. sortent du cadre de ce projet mais sont d'une importance capitale pour assurer à terme une séquestration effective du carbone.

5.3. Réflexions quant à la certification et l'utilisation de crédits carbone

Les analyses présentées précédemment mettent en lumière certaines limites du processus de certification. Certaines d'entre elles sont reprises ci-après :

- Tout d'abord, effectuer les différentes estimations pour les calculs d'émissions non émises ou séquestrées est un travail complexe qui requiert des connaissances en la matière. Au sein des différentes associations travaillant sur ce type de projets à une échelle locale, il est rare de trouver des personnes initiées et compétentes pour ce genre de pratiques. Dès lors, ces associations doivent généralement faire appel à des acteurs externes (type consultants) s'ils veulent entreprendre les démarches de certification. Leur travail consiste à faire le lien entre l'association et l'agence de certification. Ils aident notamment à monter le dossier pour la certification du projet, vérifier annuellement l'éligibilité des crédits carbone émis et à mettre en place la méthodologie de suivi. Cette aide bienvenue entraîne forcément des coûts supplémentaires (évalués à un tiers des crédits carbone éligibles pour le projet F3PAs).
- Au-delà de la complexité des calculs, la certification est un processus laborieux et coûteux. Les organismes agréés demandent beaucoup d'informations pour délivrer in fine une certification. La partie administrative est conséquente avec l'établissement de nombreux rapports (*Project Design Document (PDD)*, rapports de suivis, etc.) dans lesquels beaucoup d'informations doivent être reprises. Cela constitue une charge de travail non négligeable associée à des coûts élevés, en particulier en début de projet. On comprend pourquoi beaucoup d'associations ne voient pas l'intérêt de demander une certification. Cela constitue une charge de travail excédentaire pour des effets à court terme nuls voire négatifs. Il est clair qu'une certification ne peut être délivrée de manière

légitime que sur base d'informations correctes et précises ; cependant pourquoi les organismes n'incluraient-ils pas dans leurs honoraires élevés une partie des services proposés par les consultants externes ?

- Les calculs ex-ante des émissions non-émises ou séquestrés sont associés à des degrés d'incertitude élevés qui ne sont pas toujours quantifiables. Les résultats doivent être donc évalués avec précaution. La consommation de bois des ménages, le taux d'utilisation des F3PAs, les relations allométriques de l'espèce de palétuvier, le taux de mortalité de arbres, ... sont autant de paramètres estimés sur base d'informations existantes mais non nécessairement transposables pour tout projet. Par exemple, rien n'indique que les ménages sénégalais vont, grâce à l'introduction de F3PAs, accepter de changer leurs habitudes de vie de la même manière que l'ont fait par le passé des ménages béninois lors d'un autre projet. Il faut donc rester prudent vis-à-vis de ces estimations qui devront être réévaluées à mesure que le projet sera mis en place.

Si ces considérations ternissent l'intérêt de la certification carbone, il ne faut pas ignorer les effets positifs qui lui sont imputables. Énormément de projets n'auraient pas vu le jour en l'absence de ces fonds. La certification n'est d'ailleurs éligible que si le projet en question n'aurait pas pu voir le jour sans ces financements, ce qui reste difficilement démontrable en pratique. Les crédits carbone générés servent non seulement à amortir les frais du projet mais peuvent aussi être utilisés à d'autres fins telles que financer des campagnes de sensibilisation sur la question environnementale ou servir de fonds pour d'autres projets en phase avec les objectifs du développement durable.

6. Conclusion

La première partie de ce projet résumait de manière succincte la problématique du réchauffement climatique et des émissions anthropiques qui en sont la cause. La suite de cette section se consacrait à la présentation de l'écosystème des mangroves et les raisons pour lesquelles ces dernières sont essentielles et bénéfiques.

Dans la deuxième partie du travail consistait en une présentation de deux projets mis en place par l'association Nébéday au Sénégal. Le premier vise à introduire des F3PAs pour remplacer les foyers traditionnels moins efficaces dans les ménages de la région du Delta du Sine Saloum. Le second consiste en la plantation de 600.000 arbres, dont deux tiers de palétuviers dans les mangroves de la région. Parce qu'ils permettent de réduire les émissions de GES dans l'atmosphère (le premier en diminuant la consommation de bois de chauffe, le second en séquestrant du carbone dans la biomasse des arbres), ces deux projets sont a priori éligibles pour bénéficier de crédits carbone. Le but de la suite de ce travail était de déterminer s'il était pertinent d'un point de vue financier que l'association fasse certifier ses deux projets afin de bénéficier de ces financements carbone.

La troisième partie du travail présentait les 2 méthodologies d'inventaire des émissions de CO₂ utilisées dans ce projet. Les différentes hypothèses et calculs repris dans celles-ci ont été présentés afin d'amorcer la Partie 4 relative aux estimations ex-ante des émissions non-émises et séquestrées par le projet. Sur cette base, une analyse des coûts et revenus liés à la certification du projet ont été réalisées afin d'en étudier les avantages pour l'association Nébéday. L'analyse pour le projet d'introduction de F3PAs montre que la certification serait créatrice de valeur sur la durée du projet (VAN de 160.000€). Pour le projet de reboisement, la surface à replanter n'est malheureusement pas assez étendue que pour prétendre à une certification par un organisme tiers. Pour approfondir l'analyse, différentes études de sensibilité concernant les paramètres critiques des calculs ont été menées dans la Partie 5. Ces discussions quant aux résultats des calculs sont accompagnées de réflexions relatives au processus de certification carbone.

Ce travail consiste en une synthèse concernant les processus de certification pour de tels projets. Il illustre les points clés des méthodologies à utiliser et reprend les hypothèses et paramètres critiques pour les estimations ex-ante des réductions d'émissions de GES. Ce résumé permettra au lecteur d'y voir plus clair dans cette « jungle » qu'est le monde de la compensation carbone. Il permettra à l'association Nébéday (ou tout autre ayant une activité similaire) d'évaluer la possibilité de faire certifier l'un ou l'autre de ses projets.

Il serait illusoire de penser que la compensation d'émissions de GES est la solution pour régler la crise climatique. Lorsque considérée comme un prétexte que pour se décharger de son empreinte carbone, elle serait même néfaste. En effet, compenser n'a de sens une fois que des efforts ont été entrepris que pour réduire les différentes sources internes d'émissions (cf. Figure 1 résumant les différentes émissions par secteur d'activités) et qu'il ne reste que la part dite « incompressible ». Dans pareil cas, la compensation carbone est une mesure crédible pour le climat.

Annexes

1. Coûts liés à la certification Gold Standard pour l'introduction de F3PAs

Crediting information	
Type of project	Standalone Micro Scale
Crediting period (y)	10
Total eligible emission reduction (teqCO2)	89149.6
t eqCO2 price (\$)	4.80
Total credits (\$)	427918.12
Dollars to euro	0.89
Total credits (€)	€380,847.13
GS certification fees (\$)	
Annual registry account fee	10000.00
Preliminary review	500.00
Project design review	0.00
Performance review	6500.00
Fees for first y of issuance	0.00
Fees for subsequent issuances (tot.)	16945.68
Standalone Validation Fee	5000.00
Standalone Annual Verification Fee	25000.00
Crediting Renewal Period Fee	1337.24
Total (\$)	65282.92
Total (€)	€58,101.80
Certification associated costs (€)	
Stakeholders meeting budget	5000.00
Registration & follow up	2500.00
Verification	15000.00
In lab certification tests for ICS	2500.00
Consulting year 1 (design & performance certif.)	39750.00
Consulting subsequent years (performance certif.)	81000.00
Consulting (renewal design certif.)	7500.00
External study fNRB	10000.00
Total (€)	€163,250.00
Estimated Cashflow of certification	
	€159,495.33

Tableau 10 - Coûts relatifs à certification GS du projet F3PA

2. Évolution du stock de biomasse dans la plantation

Evolution of biomass stock in plantation								
Age (yr)	DBH (cm)	AGB (kg d.m)	BGB (kg d.m)	B (kg d.m)	Density (trees/ha)	Mortality (%)	btree (t d.m/ha)	Conservative btree (t d.m/ha)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	5000	20%	0.00	0.00
2	0.01	0.00	0.00	0.00	4000	20%	0.00	0.00
3	0.04	0.00	0.00	0.00	3200	20%	0.01	0.01
4	0.11	0.02	0.01	0.02	2560	15%	0.06	0.03
5	0.23	0.06	0.03	0.09	2176	8%	0.19	0.09
6	0.41	0.17	0.06	0.23	2002	0%	0.46	0.23
7	0.65	0.37	0.13	0.50	2002	0%	1.01	0.50
8	0.95	0.70	0.24	0.94	2002	0%	1.89	0.95
9	1.28	1.19	0.40	1.59	2002	0%	3.18	1.59
10	1.65	1.85	0.60	2.44	2002	0%	4.89	2.45
11	2.05	2.68	0.84	3.52	2002	0%	7.04	3.52
12	2.46	3.67	1.12	4.79	2002	0%	9.59	4.79
13	2.87	4.80	1.44	6.24	2002	0%	12.49	6.24
14	3.28	6.04	1.79	7.83	2002	0%	15.67	7.84
15	3.68	7.37	2.15	9.52	2002	0%	19.06	9.53
16	4.07	8.76	2.52	11.28	2002	0%	22.58	11.29
17	4.43	10.18	2.89	13.07	2002	0%	26.17	13.09
18	4.78	11.60	3.27	14.86	2002	0%	29.76	14.88
19	5.11	13.00	3.63	16.63	2002	0%	33.29	16.64
20	5.41	14.36	3.98	18.34	2002	0%	36.72	18.36
21	5.69	15.67	4.32	19.99	2002	0%	40.02	20.01
22	5.95	16.92	4.63	21.56	2002	0%	43.15	21.58
23	6.18	18.10	4.93	23.03	2002	0%	46.11	23.06
24	6.40	19.21	5.21	24.42	2002	0%	48.88	24.44
25	6.60	20.24	5.47	25.70	2002	0%	51.46	25.73
26	6.77	21.19	5.71	26.90	2002	0%	53.84	26.92
27	6.93	22.07	5.92	27.99	2002	0%	56.04	28.02
28	7.08	22.87	6.12	29.00	2002	0%	58.05	29.02
29	7.21	23.61	6.31	29.91	2002	0%	59.88	29.94
30	7.33	24.28	6.47	30.75	2002	0%	61.55	30.78

Tableau 11- Évolution du stock de biomasse par hectare de plantation

3. Coûts liés à la certification Verra pour le reboisement de 3000 ha de mangrove

Crediting information	
Type of project	Small-scale
Number of ha	3000
Plantation density (trees/ha)	5000
Crediting period (y)	30
Total emission reduction (t eqCO ₂)	459419.38
t eqCO ₂ price (\$)	3.20
Total credits (\$)	1470142.02
Dollars to euro	0.89
Total credits (€)	€1,308,426.40
VCS Certification fees (\$)	
Account opening	300
Account maintenance (annual)	300
Project listing submission	500
Issuances (\$)	
Year 1	2,717.01
Year 2	2,717.57
Year 3	2,722.90
Year 4	2,740.71
Year 5	2,779.38
Year 6	2,851.91
Year 7	2,984.50
Year 8	3,150.87
Year 9	3,347.74
Year 10	3,560.12
Year 11	3,772.06
Year 12	3,969.33
Year 13	4,140.92
Year 14	4,279.65
Year 15	4,382.02
Year 16	4,447.66
Year 17	4,478.54
Year 18	4,478.22
Year 19	4,451.19
Year 20	4,402.26
Year 21	4,336.23
Year 22	1,540.57
Year 23	1,453.26
Year 24	1,360.74
Year 25	1,265.87
Year 26	1,170.95
Year 27	1,077.77
Year 28	987.69
Year 29	901.67
Year 30	820.38
Certification associated costs (€)	
Stakeholders meeting budget	5000.00
Verification (every 5 years)	60000.00
Costs of consulting	90000.00

Tableau 12- Coûts liés à la certification du projet de reboisement de la mangrove

Bibliographie

- Agresta S. Coop. (2014). *Livelihoods' mangrove restoration grouped project in Senegal v.04*. Madrid: Verified Carbon Standard.
- Alongi, D. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon management*, 313-322.
- ANSD. (2014). *Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage (RGPGHAE)*. UNFPA.
- Armah, A. K. (2010). Protection des mangroves: le rôle du Réseau africain des mangroves. *Nature & Faune*, 24(1).
- Banque Mondiale. (2014). *Émissions de CO2 (tonnes métriques par habitant)*. Retrieved from Banque Mondiale Données: <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/EN.ATM.CO2E.PC>
- Brohé, A. (2013). *La comptabilité carbone*. Paris: La Découverte.
- CDM UNFCCC. (2020). *Default values of fraction of non-renewable biomass*. Retrieved from Clean Development Mechanism (CDM) : <https://cdm.unfccc.int/DNA/fNRB/index.html>
- Claessens, B. (2019, Août 23). *Hausse spectaculaire du prix de la tonne de carbone: quel impact pour le citoyen?* Retrieved from Révolution énergétique: <https://www.revolution-energetique.com/hausse-spectaculaire-du-prix-de-la-tonne-de-carbone-quel-impact-pour-le-citoyen/>
- Donofrio, S., & al. (2019, Décembre). Financing Emissions Reductions for the Future. *State of the Voluntary Carbon Market 2019*. Ecosystem Marketplace.
- Eurostat . (2017). *Émissions de gaz à effet de serre par habitant*. Retrieved from Eurostat Data Browser: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_rd300/default/table?lang=fr
- Gemenne, F. (2019). *Atlas de l'anthropocène*. Sciences Po.
- GIEC. (2017, Octobre). Le GIEC et le sixième cycle d'évaluation. Genève, Suisse.
- Global Data Lab. (2020, mars). *GDL Subnational Area Profile*. Retrieved from Global Data Lab: <https://globaldatalab.org/profiles/region/SENr109/>
- Gold Standard. (2013, Février). The Gold Standard simplified methodology for efficient cookstoves.

- Green Tripper. (2020). *Green Tripper*. Retrieved from <https://www.greentripper.org/>
- Gütschow, & al. (2019). *The PRIMAP-hist national historical emissions time series v2.1 (1850-2017)*. GFZ Data Services.
- Hänggi, M. (2019). *La fin de l'âge du pétrole, du gaz et du charbon*. Suisse: Éditions d'en bas.
- Hiraishi, T., & al. (2013). 2013 supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas inventories: Wetlands. *Methodological Guidance on lands with wet and drained soils, and constructed wetlands for wastewater treatment*.
- Huang, A. (2009). Categorization of Scope 3 Emissions for Streamlined Enterprise Carbon Footprinting. *Environmental Science & Technology*.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press.
- Jancovici, J.-M. (2015). *Dormez tranquilles jusqu'en 2100*. Paris: Odile Jacob.
- Komiyama. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 128-137.
- Les Deltas du Monde. (2019, Février 25). *Projet expertise universitaire-Mangroves (EU-M)*. Retrieved from mangrove.network: <https://mangroves.network/projet-expertise-universitaire-mangroves-eu-m/>
- LivelihoodsFunds. (2019, Avril 17). *La preuve par 10 : Résultats de l'étude sur les impacts sociaux du plus grand projet de restauration de mangroves du Fonds Carbone Livelihoods au Sénégal*. Retrieved from <http://www.livelihoods.eu/fr/the-proof-by-10-results-of-the-study-on-the-social-impacts-of-the-largest-mangrove-restoration-project-of-the-carbon-livelihoods-fund-in-senegal/>
- Maibach, & al. (2014). Climate scientists need to set the record straight: There is a scientific consensus that human-caused climate change is happening. *Earth's future*, 295-298.
- Markets Insider. (2020, 02 21). *CO2 European Emission Allowances*. Retrieved from <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-european-emission-allowances/euro>

- McGroddy, M. E., & al. (2004, Septembre). Scaling of C:N:P Stoichiometry in Forests Worldwide: Implications of Terrestrial Redfield-Type Ratios. *Ecology*, 2390-2401.
- Meadows, D. H., & al. (1972). *The Limits to growth; a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe Book.
- Oceanium. (2010). *Project design document form v.02 - Oceanium mangrove restoration project*.
- Pienaar. (1973). The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. *Forest Science*, 2-22.
- REN21. (2019). *Renewables 2019 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat.
- Tanoh, S., Kpai, N., Sawadogo, M., & Sidibe, S. (2015, Juillet 24). Rapport sur les tests de performances énergétiques des foyers trois pierres améliorés (F3PA) de l'association Tiipaalg. Ouagadougou, Burkina Faso.
- Tiipaalg. (2017). *GS1340 Efficient cookstoves in Burkina Faso - VPA 1-10*. Gold Standard.
- United Nations. (2019). *Departement of Economic and Social Affairs*. Retrieved from Household Size & Composition, 2019: <https://population.un.org/Household/index.html#/countries/686>
- Verra. (2020, Avril). *VCS Offset Project Registry Fee Schedule*. Retrieved from <https://verra.org/oprfeeschedule/>
- Werf, V. d., & al. (2009). CO2 emissions from forest loss. *Nature Geoscience*, 737-738.