

Evaluation carbone du “Programme d’Action Communautaire – Résilience au Changement Climatique” au Niger

Application de l’outil EX-ACT Version 3

Pierre Sutter¹ et Marianne Tinlot¹

¹ Consultant, Service d’appui à l’assistance aux politiques, FAO

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR ALIMENTATION ET L’AGRICULTURE



About EX-ACT: The *Ex Ante* Appraisal Carbon-balance Tool aims at providing *ex-ante* estimations of the impact of agriculture and forestry development projects on GHG emissions and carbon sequestration, indicating its effects on the carbon balance.

See EX-ACT website: www.fao.org/tc/exact

Related resources

- EX-ANTE Carbon-Balance Tool (EX-ACT): (i) [Technical Guidelines](#); (ii) [Tool](#); (iii) [Brochure](#)
- See all EX-ACT resources in EASYPol under the Resource package, [Investment Planning for Rural Development, EX-Ante Carbon-Balance Appraisal of Investment Projects](#)

About EASYPol

EASYPol is a multilingual repository of freely downloadable resources for policy making in agriculture, rural development and food security. The EASYPol home page is available at: www.fao.org/easypol. These resources focus on policy findings, methodological tools and capacity development. The site is maintained by FAO's [Policy Assistance Support Service](#).

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

La mention de sociétés déterminées ou de produits de fabricants, qu'ils soient ou non brevetés, n'entraîne, de la part de la FAO, aucune approbation ou recommandation desdits produits de préférence à d'autres de nature analogue qui ne sont pas cités.

E-ISSN 2219-9497

E-ISBN 978-92-5-207272-0 (PDF)

Les opinions exprimées dans ce produit d'information sont celles du/des auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement celles de la FAO.

Tous droits réservés. La FAO encourage la reproduction et la diffusion des informations figurant dans ce produit d'information. Les utilisations à des fins non commerciales seront autorisées à titre gracieux sur demande. La reproduction pour la revente ou à d'autres fins commerciales, y compris à des fins didactiques, pourra être soumise à des frais. Les demandes d'autorisation de reproduction ou de diffusion de matériel dont les droits d'auteur sont détenus par la FAO et toute autre requête concernant les droits et les licences sont à adresser par courriel à l'adresse copyright@fao.org ou au Chef de la Sous-Division des politiques et de l'appui en matière de publications, Bureau de l'échange des connaissances, de la recherche et de la vulgarisation, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italie.
Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy.

© FAO 2012

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier tout particulièrement Messieurs Danbokoye Chaïbou, Abdou Maïsharou, Koussoukoye Aboubacar, Abdoulaye Dodo et Mahaman Abatcha Madaï avec qui les hypothèses du présent travail ont été construites et sans qui ce rapport n'aurait pu être constitué.

Nous remercions également l'initiative conjointe des équipes de la Banque Mondiale et de la FAO ainsi que le support apporté par le PAC et notamment par Monsieur Assadeck Mohamed.

Table des matières

1.	Résumé.....	1
2.	Introduction.....	1
	2.1 L'outil EX-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT)	1
	2.2 Description du projet PACRC	2
	2.3 Image globale des trois situations supposées	4
3.	Evaluation du Bilan Carbone	6
	3.1 Paramètres fixes de l'analyse carbone	6
	3.2 Analyse du scénario « sans » PACRC.....	7
	3.2.1 Hypothèses du scénario de référence	7
	3.2.2 Evaluation du bilan carbone du scénario sans projet.....	8
	3.2.2.1 Dégradation des terres forestières	8
	3.2.2.2 Dégradation des prairies.....	9
	3.2.2.3 Dégradation des terres agricoles	10
	3.2.3 Récapitulatif de l'impact du scénario sans PACRC.....	11
	3.3 Analyse du scénario « avec » PACRC.....	11
	3.3.1 Hypothèses prises pour le scénario avec projet.....	11
	3.3.2 Evaluation du bilan carbone du scénario avec projet	14
	3.3.2.1 Mesures Végétatives	14
	3.3.2.2 Mesures agronomiques.....	17
	3.3.2.3 Mesures de gestion.....	18
	3.3.2.4 Mesures Structurales	20
	3.3.3 Récapitulatif de l'impact du scénario avec le projet PACRC	22
4.	Résultats globaux du Bilan Carbone	22
5.	Analyse de sensibilité.....	24
	5.1 Choix du climat dominant	24
	5.2 Choix du type de sol dominant	24
	5.3 Adoption des pratiques de GDT	24
6.	Conclusions	25
7.	Links to other EASYPol Material	25
8.	Further Readings	26

Table des Abréviations

MDP	Mécanisme pour le Développement Propre
CUT	Changement d'Usage des Terres
CH ₄	Méthane
CO ₂	Dioxyde de Carbone
EX-ACT	EX-Ante Carbon Balance Tool
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GES	Gaz à Effets de Serre
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GDT	Gestion Durable des Terres
GMV	Grande Muraille Verte
Ha	Hectare
PAC	Programme d'Action Communautaire
PACRC	Programme d'Action Communautaire – Résilience au Changement Climatique
PANA	Programme d'actions national d'adaptation au changement climatique
tCO ₂ -e	Tonnes de CO ₂ équivalent
tCO ₂ -e .ha ⁻¹	Tonnes de CO ₂ équivalent par hectare
tCO ₂ -e .year ⁻¹	Tonnes de CO ₂ équivalent per year

1. RESUME

Ce document est issu d'un travail de groupe exploratoire réalisé au Niger lors d'une mission conjointe FAO/Banque mondiale du 9 au 15 mai 2011 pour définir l'éventuel potentiel d'atténuation du Programme d'Action Communautaire – Résilience au Changement Climatique (PACRC).

Les résultats obtenus sont sujets à la mise en œuvre du PACRC actuellement en cours de formulation. Ils dépendront des demandes communautaires effectuées vis-à-vis des activités supportées par le PACRC et notamment les activités liées à la seconde composante du programme promouvant l'adoption de pratiques et la gestion durable des terres (GDT). Tel qu'il est proposé le projet PACRC présente un potentiel de mitigation du changement climatique non négligeable, ce qui met en avant les synergies possibles entre mesures d'adaptation et de mitigation du changement climatique.

2. INTRODUCTION

2.1. L'outil EX-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT)

Le potentiel d'atténuation du projet PACRC a été mesuré en utilisant l'outil EX-ACT. EX-ACT (EX-Ante Carbon-balance Tool) est un outil conjointement développé par trois divisions de la FAO (le service d'appui aux politiques, le centre d'investissement, et la division économique). Il apporte des estimations ex-ante de l'impact des projets de développement agricole et forestier sur les émissions de gaz à effet de serre (GES). Il consiste à estimer les émissions de CO₂, CH₄ et N₂O et la séquestration de carbone de deux scénarios, l'un correspondant à la mise en œuvre du projet, et l'autre reflétant un état de référence sans l'implémentation du projet.

Pour lier le processus de formulation d'un projet avec ses impacts dans la durée, deux phases temporelles sont prises en compte. La phase dite d'implémentation du projet qui est la phase active de réalisation des activités du projet, correspondant souvent à la phase de financement, et la phase dite de capitalisation correspondant à la période durant laquelle on peut toujours percevoir les potentiels bénéfiques des activités mises en œuvre par le projet. En principe, la durée totale de ces deux phases ne doit pas dépasser vingt ans, pour répondre à la fois aux méthodologies carbone existantes mais aussi pour être en adéquation avec les données scientifiques qui ne sont disponibles que sur une période d'analyse de vingt ans. On supposera que toutes les activités seront mises en œuvre pendant la phase d'implémentation et qu'il n'y aura pas de changement d'utilisation des terres additionnel lors de la phase de capitalisation.

EX-ACT a été développé en utilisant principalement "les lignes directrices des inventaires nationaux des GES" complétées par d'autres méthodologies existantes. Les valeurs par défaut pour les options d'atténuation dans le secteur agricole proviennent principalement du GIEC (2006). Les autres coefficients tels que les émissions de GES des opérations fermières, la

consommation de matières premières due au transport, l'exécution des systèmes d'irrigation proviennent de Lal¹.

EX-ACT est contenu dans une série de feuilles Excel dans lesquelles l'utilisateur peut insérer des données basiques sur l'utilisation du sol et les pratiques de gestion prévues dans le cadre du projet. EX-ACT adopte une approche modulaire – chaque "module" décrit une utilisation spécifique du sol – suivant un cadre de travail avec une logique en trois phases :

- a. **description générale du projet** (aire géographique, caractéristiques du climat et du sol, durée du projet);
- b. **identification des changements d'usage des terres et des technologies** par composantes du projet en utilisant les "modules" spécifiques (déboisement, boisement, dégradation forestière, cultures annuelles/ pérennes, riz paddy, prairie, bétail, intrants, autres investissements)
calcul du bilan carbone avec et sans projet en utilisant les valeurs par défaut du GIEC et – si ils sont disponibles – des coefficients ad-hoc.

2.2. Description du projet PACRC

Le Niger a lancé le programme d'action communautaire (PAC2) en 2008. Le PAC2 a pour objectif de rendre les communautés rurales mieux à même de concevoir et mettre en œuvre de manière participative des plans de développement, ce qui contribuera à une amélioration des conditions de vie dans les zones rurales. Ce projet collabore avec des institutions nationales chargées de promouvoir la décentralisation et le développement local dans le cadre de la stratégie de développement rural du Niger.

Le PACRC est une composante du PAC2 visant à améliorer l'adaptation des communautés rurales et des systèmes agricoles vis-à-vis du changement climatique dans un but de sécurité alimentaire. Pour cela trois sous composantes sont prévues :

- a. l'amélioration des capacités institutionnelles,
- b. l'amélioration de la résilience des populations locales aux variations climatiques (incluant les sécheresse et inondation) en investissant dans la Gestion Durable des Terres (GDT) et des eaux et en établissant des filets de protection sociale,
- c. la mise en place d'une coordination des stratégies et des savoirs adéquats.

De la même manière que le PAC2, le PACRC suit une approche participative du bas vers le haut (« bottom to top »), les communautés identifiant elles mêmes les activités qu'elles définissent comme prioritaires et qui pourront être supportées dans le cadre du programme. Cette approche participative ne permet pas de prévoir de façon ex-ante les implications du projet en termes de changement dans les pratiques et les usages des terres. Cependant, les expériences passées au Niger montrent l'efficacité des techniques de gestion durable des terres et des eaux vis-à-vis des attentes des communautés au regard du renforcement des systèmes agricoles.

Les trois composantes ne peuvent pas toutes être analysées du point de vue de l'atténuation du changement climatique. Seule la seconde composante (améliorer la résilience des

¹ Lal, 2004.

populations locales aux variations climatiques en investissant dans la gestion durable des terres et des eaux) devrait influencer directement les émissions et la séquestration de carbone.

Le projet ciblera une cinquantaine de communes situées dans la zone climatique la plus sensible, en dehors et en complément des zones d'intervention d'autres programmes en cours tels que le PAC2, le Programme d'actions national d'adaptation au changement climatique (PANA), et la grande muraille verte (GMV).

Les communes Nigérienne présentent une grande disparité de surface entre les communes sahariennes du nord (une dizaine de commune se partageant $\frac{3}{4}$ du territoire national) et celle sahélienne du sud (250 communes sur $\frac{1}{4}$ du territoire). De façon conservatrice, le groupe a préféré calculer la taille moyenne d'une commune nigérienne pour définir la zone totale d'intervention potentielle du projet.

La zone concernée est donc estimée à 6,335 million ha ($127,7 / 4 / 250 * 50$)

Ces 6335 millions d'hectares sont composés de différents usages de terres. La réunion de différentes parties prenantes a permis d'établir une répartition type des usages des terres dans la zone d'intérêt (Table1).

Table1: Principaux usages des terres dans la zone concernée

Description	Répartition (%)	Surface (ha)
Terres pastorales	50%	3 167 500
Terres agricoles	30%	1 900 500
Terres boisées	15%	950 250
Terres dégradées (Glacis, dunes)	5%	316 750
TOTAL	100%	6 335 000

L'état qualitatif des terres a aussi été détaillé, comme le reflète le tableau ci-après.

Table 2: Etat de dégradation des terres dans la zone concernée

Etat des terres	Répartition partielle (%)	Surface (ha)
Prairie faiblement dégradée	80%	2 534 000
Prairie moyennement dégradée	20%	633 500
Prairie fortement dégradée	0%	0
Terres agricoles	70%	1 330 350
Terres agricoles dégradées	30%	570 150
Terres boisées faiblement dégradées	30%	285 075
Terres boisées moyennement dégradées	70%	665 175
Terres boisées fortement dégradées	0%	0
Terres dégradées (glacis, dunes)	100%	316 750
TOTAL		6 335 000

2.3. Image globale des trois situations supposées

Avant de réaliser l'analyse du bilan carbone, les différentes hypothèses nécessaires à la construction des scénarios ont été supputées par les experts ayant participé à l'approche exploratoire pour estimer le bilan carbone du PACRC. Les figures suivantes représentent les usages des terres et leur état de dégradation potentielle dans les trois situations ; i) initiale, ii) finale sans projet, et iii) finale avec projet. Le détail des hypothèses ayant aboutit à ces figures est présenté dans le chapitre suivant. Ces figures visent juste une meilleure compréhension globale de ce qui se passerait au cours du temps dans les deux scénarios.

Figure 1a: Usage des terres et état de dégradation pour les trois scénarios (initial, avec et sans projet)

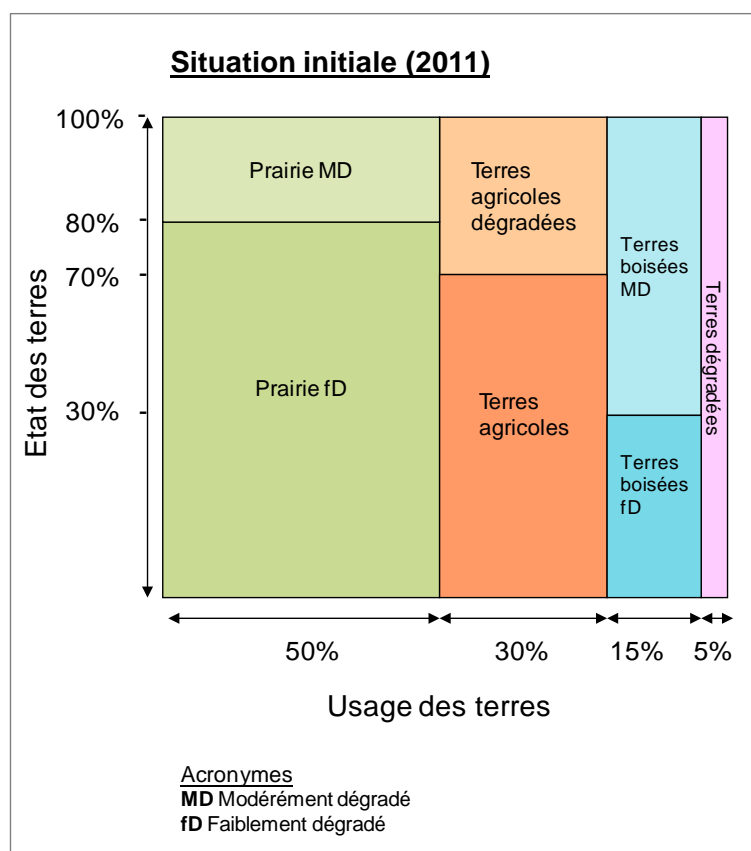


Figure 2b: Situation avec projet

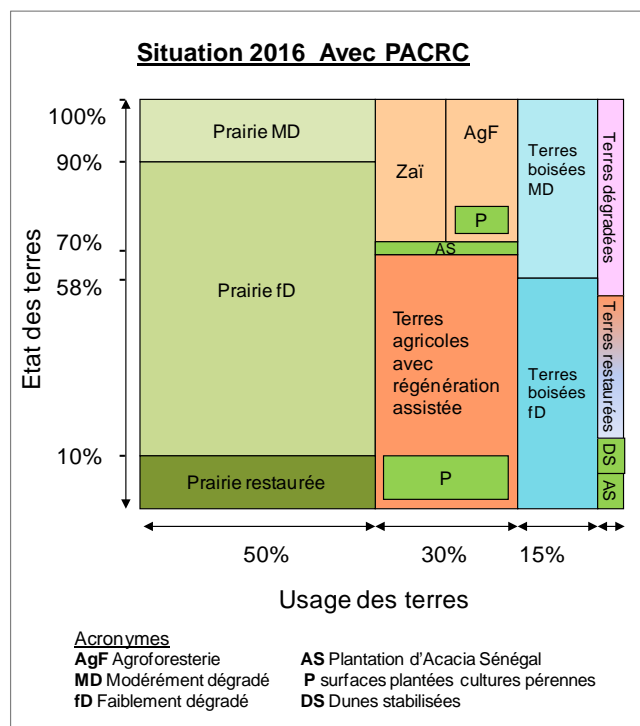
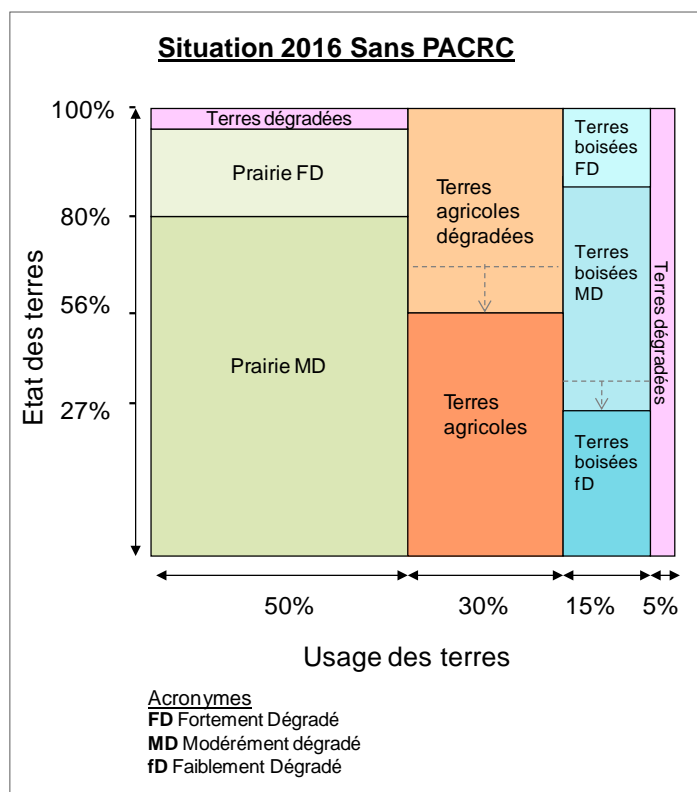


Figure 3c: Situation sans projet



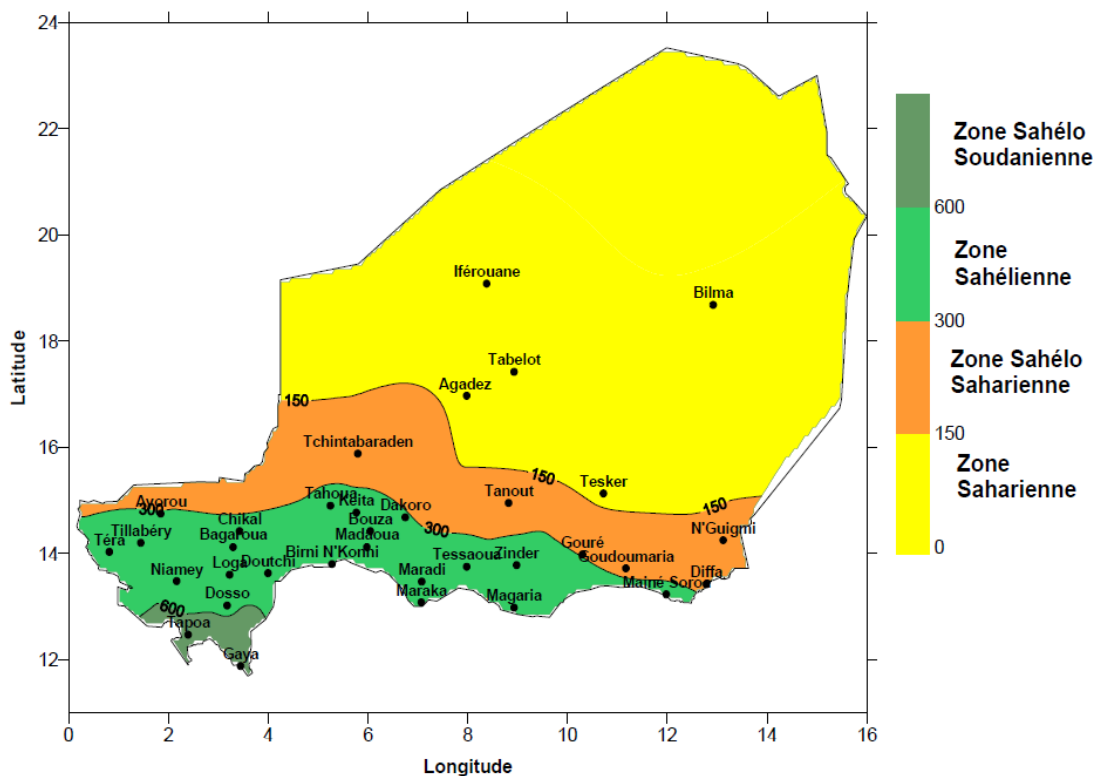
3. EVALUATION DU BILAN CARBONE

Cette section décrit l'évaluation du potentiel d'atténuation du PACRC. Il est d'abord nécessaire de présenter les paramètres de base choisis pour réaliser cette analyse. Les deux scénarios, avec et sans projet, sont ensuite décrits et analysés séparément

3.1. Paramètres fixes de l'analyse carbone

L'analyse prend en compte les activités menées dans le cadre du PACRC. Ce programme intervient à l'échelle nationale, et concerne des communes localisées entre la zone Saharienne et la zone Sahélienne. Cette zone (orange dans la Figure 4), a été choisie car elle est la plus sensible au changement climatique. Le climat Sahélo Saharien décrit dans EX-ACT est **tropical**, avec un régime hydrique qualifié de **sec**.

Figure 4 : Principales zones climatiques au Niger



Source: Niger Second National Communication on Climate Change, 2009

Il est probable que la zone de projet soit constituée de différents types de sol. L'analyse ne peut pas prendre en compte la variabilité de ce facteur. Nous considérerons donc ici que le type de sol retenu sera celui le plus représentatif de l'ensemble du Niger. Pour la description des sols, la classification simplifiée du GIEC est utilisée. Cette classification permet de

choisir la catégorie “**sols sablonneux**” qui caractérisent bien 80 à 85% des terres cultivables du Niger².

L'analyse considérera une phase d'implémentation de **5 ans** qui correspond à la durée de mise en œuvre du projet. Cette phase est suivie par une phase de capitalisation de **15 ans**, qui correspond à la période durant laquelle les effets des investissements réalisés seront encore sensibles et attribuables au projet PACRC. Cette durée permet de prendre en compte une durée d'évaluation carbone totale de 20 ans, qui correspond à la période durant laquelle les dynamiques du cycle carbone dans les sols agricoles ont été étudiées et pour laquelle le GIEC donne des coefficients d'émission.

Durant la phase d'implémentation du projet, le rythme d'implémentation peut être considéré comme linéaire. En effet, la courbe en « S » caractéristique de l'adoption de nouvelles pratiques par les paysans montre une faible adoption initiale, puis une très rapide progression de la technologie, puis atteint un pallier pour décrire l'adoption plus lente des paysans ayant le moins de capacité pour améliorer leurs pratiques ou ceux qui sont les plus sceptiques à la mise en œuvre de nouvelles pratiques. Cette courbe en « S » peut être moyennée pour correspondre à une courbe linéaire dans le cas du calcul du bilan carbone.

Concernant le Potentiel de Réchauffant Global (PRG)³ l'analyse adoptera les mêmes valeurs que celles utilisées par le Mécanisme de Développement Propre (MDP) soit, 21 pour le CH₄ et 310 pour le N₂O.

3.2. Analyse du scénario « sans » PACRC

3.2.1. Hypothèses du scénario de référence

Le scénario sans projet, ou scénario de référence, se construit en prenant en compte les tendances actuelles et les activités humaines futures (hormis celles du projet). La zone du projet sera choisie en dehors des zones d'intervention d'autres programmes (PAC2, PANA et grande muraille verte) mais les complétera. Nous considérerons que les changements d'usage des terres et de pratiques engendrées par les projets dans des zones voisines n'influeraient pas sur la zone étudiée.

Dans ce scénario, les tendances à l'œuvre actuellement (dégradation des terres) se poursuivent sur les 5 ans d'implémentation du projet. Ces tendances ont été décrites par le groupe de travail durant la mission. De façon générale, les terres tendent à se dégrader dans le futur sans la mise en œuvre du projet comme le reflète la Table 3.

² Niger Second National Communication on Climate Change, 2009

³Unité de mesure permettant d'évaluer le réchauffement potentiel d'un gaz à effet de serre en fonction de sa durée de vie dans l'atmosphère et de sa capacité à absorber les rayons infrarouges. Par convention, le PRG du CO₂ est de 1

Table 3 : Evolution des usages des sols dans la situation sans projet

	Classe	Initial (2011)	Perte	Devenir	Final (2016)
Prairies	A	2 534 000	100%	de A vers B	0
Prairies moyennement dégradées	B	633 500	90%	de B vers C	2 534 000
			10%	de B vers I	
Prairies fortement dégradées	C	0		issus de B	570 150
Terres agricoles	D	1 330 350	20%	de D vers E	1 064 280
Terres agricoles dégradées	E	570 150			836 220
Terres boisées faiblement dégradées	F	285 075	10%	de F vers G	256,568
Terres boisées modérément dégradées	G	665 175	10%	de G vers H	627,165
Terres boisées fortement dégradées	H	0		issus de G	66,518
Terres dégradées	I	316 750		issus de B	380,100
TOTAL		6 335 000			6 335 000

L'impact de chacun de ces changements sur les émissions est détaillé par la suite. Les coefficients du GIEC (tier 1) sont utilisés par défaut, sauf pour les terres agricoles où des coefficients plus spécifiques sont employés (approche tier 2).

3.2.2. Evaluation du bilan carbone du scénario sans projet

3.2.2.1. Dégradation des terres forestières

Sans la mise en œuvre du projet, les terres forestières se dégraderont comme suit, i) 28 508 ha passeront de faiblement à moyennement dégradé, et ii) 66 518 ha passeront de moyennement à fortement dégradé. Les coefficients utilisés pour réaliser le bilan carbone sont présentés dans la Table 4.

Table 4 : Coefficients utilisés pour la dégradation des forêts (t C/ha)

Foret type 4	Biomasse initiale	Biomasse finale	Sol initial	Sol final
De Faiblement dégradé à moyennement	39,8	29,8	27,9	24,8
De moyennement dégradé à important	29,8	19,9	24,8	21,7

Cette dégradation qui aurait lieu sans le PACRC est prise en compte dans le module « dégradation forestière » de l'outil EX-ACT dont les résultats partiels sont montrés ci-dessous.

Figure 5 : Bilan carbone de la dégradation des forêts

Emissions de GES									
Nom	surface (ha)		Biomasse		Sol		Sous-totaux		Différence tCO2
	Sans Projet		Sans tCO2	Avec tCO2	Sans tCO2	Avec tCO2	Sans tCO2	Avec tCO2	
	Fin	Dynamique							
deg de faible a modere	28,508	Linéaire	1039212	0	283531	0	1322743	0	- 1,322,743
non chang faibl dégradé	256,568	Linéaire	0	0	0	0	0	0	-
deg de modere a fort	66,518	Linéaire	2424829	2424829	661572	661572	3086401	3086401	-
non chang mod degrade	332,588	Linéaire	0	0	0	0	0	0	-
AVEC = restauration des forets	266,070	Linéaire	0	-9699316	0	-2646288	0	-12345604	- 12,345,604
Degradation Total							4409144	-9259203	- 13,668,347

La dégradation estimée des forêts dans le futur sans projet engendrerait une source de (+) 4.4 millions de tCO₂-e en 20 ans.

3.2.2.2. Dégradation des prairies

Sans la mise en œuvre du PACRC, les prairies subiraient une dégradation importante, de non dégradé à modérément dégradé pour 2 534 000 ha et de modérément dégradé à fortement dégradé pour 570 150 ha.

La table suivante présente le contenu carbone à l'hectare des terres pastorales en fonction de leur dynamique de dégradation.

Table 5 : Coefficients utilisés pour la dégradation des prairies (t C/ha)

Pâtures	Sol initial	Sol final
De Non dégradé à Moyennement dégradé	31,0	29,8
De Moyennement dégradé à Fortement dégradé	29,8	21,7

La dégradation engendre une source de (+) 18,4 millions de tCO₂-e en 20 ans (Figure 6).

Figure 6 : Bilan carbone pour la dégradation des prairies

Default		Start t0	Variation du Csol (tCO2e)		Brûlis (tCO2eq)		Sous-totaux (tCO2eq)		Différence tCO2eq
			Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	
Prairie 1	moins de feux	23,318	92769	0	93662	46831	186430	46831	- 139,600
Prairie 3	SANS projet degradation	2,510,682	9988328	0	0	0	9988328	0	- 9,988,328
Prairie 4	AVEC projet restauration	316750	8190891	-6300685	0	0	8190891	-6300685	- 14,491,576
Total Syst 1-10		3,104,150					18365649	-6253855	- 24,619,504

Les prairies passant de prairie fortement dégradées à terres dégradées (63 350 ha) doivent être prises en compte dans le module « autres CUT ». Étant donné l'état de dégradation initiale de la pâture, le coefficient correspondant au stock initial de carbone dans le sol a été modifié. Le nouveau coefficient, issu du module prairie d'EX-ACT correspond mieux aux prairies fortement dégradées (Table 6).

Table 6 : Coefficients utilisés pour le CUT (t C/ha)

CUT	Biomasse initiale	Biomasse finale	Sol initial	Sol final
De prairie à terre dégradée (coefficient tier 1)	3,5	1,0	31,0	9,0
Coefficient utilisé pour une prairie dégradée	1,0	1,0	21,7	9,0

Les prairies devenant des « terres dégradées » sans la mise en œuvre du PACRC engendrerait une source de (+) 2,6 millions de tCO₂-e en 20 ans (Figure 7).

Figure 7 : Bilan carbone pour la dégradation des prairies

Emissions de GES Type de succession		Superficies concernées par les CUT				Variation de Biomasse		C org du sol		Feu		Sous totaux		Différence tCO ₂
		Sans Projet		Avec Projet		Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	
		Surface	Dynamiqu	Surface	Dynamiqu									
CUT-1	Pénération assistée	0	Linéaire	88776	Linéaire	0	117079	0	-4167903	0	0	0	-2997195	- 2,997,195
CUT-2	Agroforesterie planté sur terre agricole dégradé	0	Linéaire	25319	Linéaire	0	297079	0	-1057648	0	0	0	-760569	- 760,569
CUT-4	restauration des terre dégradé pour l'agriculture	0	Linéaire	61850	Linéaire	0	-181427	0	-303606	0	0	0	-485033	- 485,033
CUT-5	restauration des terre dégradé pour pastoralism	0	Linéaire	24740	Linéaire	0	-56242	0	-327815	0	0	0	384058	- 384,058
CUT-7	SANS projet: dégradation des pâtures	63280	Linéaire	0	Linéaire	0	0	2583281	0	0	0	2583281	0	- 2,583,281
CUT-8	SANS projet dégradation des terres agricoles	0	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	0	0	-
CUT-16	terres dégradées fixes	185550	Linéaire	185550	Linéaire	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Total pour Autres CUT												*****	*****	- 7,210,136

La dégradation des prairies supposée dans le scénario sans projet engendrerait au total une source de (+) 21 millions de tCO₂-e en 20 ans.

3.2.2.3. Dégradation des terres agricoles

Sans la mise en œuvre du projet, 266 070 ha de terres agricoles devraient se dégrader. Ces terres seront toujours cultivables, mais présenteront de très faibles rendements. En conséquence, cette dégradation ne peut être comptée comme un changement d'usage des terres. La dégradation peut néanmoins être calculée via la perte du carbone organique du sol en utilisant un coefficient Tier 2.

D'après Bationo⁴, la perte de carbone des sols sahétiens avoisine 156 Kg de carbone par ha et par an.

⁴ Bationo A. et al, 2007.

Figure 8 : Bilan carbone pour la dégradation des terres agricoles

Type de Culture	Surfaces		Bilan de CO ₂ du sol				Brûlis		Sous-totaux		Différence tCO ₂	
	Début t0	Sans Projet Fin	Avec Projet Dynamique Fin	Avec Projet Dynamique	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂		
												Fin
Système réservé A1	0	0	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	0
Système réservé A2	7500	7500	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	-
Système réservé A3	0	0	Linéaire	61850	Linéaire	0	-327644	0	0	0	-327644	- 327,644
Système réservé A4	125,096	125,096	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	-
système tradi zai	1,767,905	1,501,835	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	-
80% paille	0	0	Linéaire	281,325.0	Linéaire	0	-947714	0	0	0	-947714	- 947,714
20% non paille	0	0	Linéaire	1,189,263.6	Linéaire	0	-6867997	0	0	0	-6867997	- 6,867,997
SANS dégradation des sols	0	0	Linéaire	297,315.9	Linéaire	0	0	0	0	0	0	-
SANS dégradation des sols	0	266070	Linéaire	0	Linéaire	2663361	0	0	0	2663361	0	- 2,663,361
Total Syst 1-10	1,767,905	1,767,905		1,767,905								
Total Agriculture annuelle									2663361	-8143355	-10806716	

La dégradation des terres agricoles supposée dans le scénario sans projet engendrerait une source de (+) 2,7 millions de tCO₂-e en 20 ans.

3.2.3. Récapitulatif de l'impact du scénario sans PACRC

Dans le scénario sans projet, il a été considéré que les trois usages des terres principaux, c.-à-d. prairies, terres boisées et terres agricoles, continueraient à subir une dégradation. Ainsi, le bilan carbone est une source nette d'émissions de GES de près de 28 million de t CO₂-e en 20 ans, ainsi que le montre la Table 7.

Table 7 : Récapitulatif des sources de GES pour la situation sans projet

Type de dégradation	MtCO ₂ -e en 20 ans
Forêts	(+) 4.4
Pâtures	(+) 20.8
Agriculture	(+) 2,7
Bilan carbone	(+) 28.0

3.3. Analyse du scénario « avec » PACRC

3.3.1. Hypothèses prises pour le scénario avec projet

Le scénario "avec projet" concerne les implications du projet PACRC. La résilience vis-à-vis du climat est envisagée de deux manières. Une résilience socio-économique et une résilience de l'agro-système.

La résilience socio-économique peut avoir des effets sur le bilan carbone, car l'extrême pauvreté est un des principaux facteurs de dégradation de l'environnement⁵. Cependant ces effets sont trop indirects, imprévisibles et inconstants pour être directement pris en compte dans le bilan carbone du PACRC. Cette sous-composante permettra tout de même d'améliorer la pérennité des changements envisagés directement par le PACRC dans sa composante agricole.

⁵ Ballet, 2011.

Le renforcement des savoirs et compétences (sous composante 3) est aussi une activité difficile à évaluer du point de vue du bilan carbone. Néanmoins, il a été prouvé que des aménagements ou pratiques mal adaptées aux conditions locales entraînent un refus massif de la part des paysans. Ainsi, cette composante est nécessaire à l'adoption des changements envisagés directement par le PACRC dans sa composante agricole.

Ces deux sous-composantes permettent une plus grande robustesse des réalisations du PACRC. Ainsi le bilan carbone devrait être moins sensible en comparaison d'autres projets pour lesquels l'accompagnement des paysans n'est pas largement envisagé.

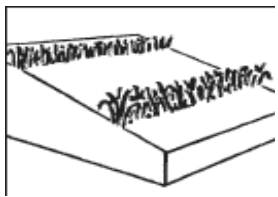
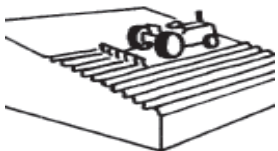
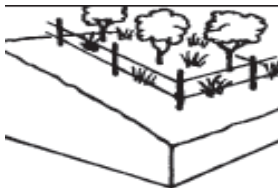

La sous composante agraire du projet vise à renforcer la résilience du système agricole vis-à-vis du changement climatique. Ces pratiques d'adaptation ont été identifiées comme étant des pratiques de gestion durable des terres et des eaux (GDT). L'eau est le principal facteur limitant dans les cultures pluviales au Niger. C'est aussi ce facteur qui est amené à être modifié avec les changements climatiques. Deux options sont possibles : une diminution de la pluviométrie, ou une plus grande variabilité des précipitations. Les pratiques de GDT permettent de répondre à ces contraintes car elles offrent une disponibilité accrue de l'eau via diverses mesures :

- Les mesures agronomiques améliorant le taux de matière organique des sols (réincorporation précoce des résidus, apport de fumier) permettent une meilleure infiltration et stockage de l'eau⁶.
- Les mesures structurales permettent un captage des eaux d'écoulement et des sédiments.
- Les mesures de gestion permettent une stabilisation du couvert herbacé et forestier des plateaux qui assure le rechargement des nappes et limite l'ensablement des points d'eau.
- Les mesures végétatives, en plus d'un effet structural, permettent la création de microclimat plus humide grâce à leur évapotranspiration et leur effet brise-vent.

Ces pratiques ont un impact sur le bilan carbone. Dans le logiciel EX-ACT elles sont corrélées à plusieurs modules comme le montre le tableau ci-dessous.

⁶ Accroissement de 10% selon Koull, 2007.

Table 8 : Analyse des différentes mesures de gestion durable des terres (GDT) avec EX-ACT

Type de Mesure GDT		Module EXACT
	Végétative : plantation, agroforesterie, haies vives et herbacés pérennes	- Reforestation - Autre CUT - Cultures pérennes
	Agronomique : Amélioration du couvert végétal du sol, de la matière organique et de la fertilité du sol, diminution du labour	- Culture annuelles
	De gestion : Changement d'usage des terres, intensité et calendrier des activités	- Dégradation des forêts - Prairie - Bétail
	Structurale : Gestion de l'écoulement des eaux de surfaces	- Reforestation - Autre CUT

Source des images : WOCAT

Le projet visant la participation des communautés dans l'élaboration de leurs plans d'aménagement, les surfaces concernées par l'adoption des GDT ne sont donc pas connues au début du projet. Toutefois, pour avoir une estimation ex-ante du projet, il est nécessaire de prendre en compte ces surfaces, l'expertise du groupe de travail a donc été mobilisée afin de choisir des hypothèses réalistes au regard du contexte nigérien.

Les différentes mesures de GDT s'appliquent à différents points d'un bassin versant. Une tentative de modélisation d'un bassin versant type dans la zone de projet a été menée en vain par le groupe de travail pour estimer les ouvrages nécessaires à son aménagement et leur dimensionnement. En effet la configuration topologique du Niger présente des plateaux creusés de vallées à l'ouest et des plaines surmontées de collines à l'est. Cette variabilité n'a pas permis de mener à bien cette tentative de modélisation pour laquelle les usages des terres, répartition et pressions démographiques ne sont pas similaires.

Le groupe de travail s'est donc concentré sur l'estimation globale des surfaces améliorées grâce à l'adoption des GDT promues par le PACRC et potentiellement sollicitées par les communautés. La Table 9 présente les estimations résultant de cette concertation d'experts.

Table 9 : Adoption des GDT envisagée dans le scénario de mise en œuvre du PACRC

Mesures végétatives	
Plantation d'acacia Sénégal	10 000 ha
Stabilisation de dunes	5 000 ha
Régénération assistée	pour 100% des terres agricoles
Agroforesterie	pour 50% des terres agricoles dégradées
Mesures agronomiques	
Gestion du paillis	pour 80% des terres agricoles
Restauration des terres agricoles dégradées	pour 50% des terres agricoles dégradées
Mesures de gestion	
Restauration des terres pastorales dégradées	pour 50% des terres pastorales dégradées
Restauration des terres boisées dégradées	pour 40% des terres boisées dégradées
Mesures de gestion du bétail	pour 20% des bovins et ovins
Réduction des feux de brousses	fréquence / 2
Mesures structurales	
Restauration des glacis	pour 40% des terres agricoles dégradées

Ces implications vont être analysées en détail dans le chapitre suivant. Les surfaces concernées par ces mesures peuvent être une estimation de ce qui serait nécessaire afin d'assurer l'adaptation des communautés sur la zone de projet. Le potentiel d'atténuation calculé correspond à l'adaptation de l'ensemble de l'agro système. Il ne correspond pas à ce que le projet PACRC réalisera, mais à ce qui est considéré comme un optimum technique envisageable dans le contexte nigérien. Ce potentiel pourra être recalculé pendant et après la réalisation du projet, en utilisant le taux de réalisation effectif du projet par rapport au potentiel technique optimal défini.

En l'absence de données sur la situation initiale, nous considérerons qu'actuellement aucune mesure n'est appliquée à une échelle significative.

L'analyse suivra une trame thématique, selon les quatre types de mesures de GDT.

3.3.2. Evaluation du bilan carbone du scénario avec projet

3.3.2.1. Mesures Végétatives

Le projet prévoit⁷ l'implantation de 10 000 ha de plantation d'Acacia Sénégal pour les communautés cibles du projet. Ces plantations auront lieu à 75% sur des terres agricoles dégradées et à 25 % sur des terres dégradées. Pour palier à l'avancée des dunes, la stabilisation de 5 000 ha de dunes est également prévue. Les sols dunaires mouvants peuvent être considérés comme des terres dégradées sur lesquelles des plantations seront effectuées.

⁷ Concept note sur une proposition d'un prêt de 63 million de dollars à la République du Niger pour le PACRC

Ces composantes entrent donc dans le module boisement, et les coefficients utilisés sont présentés dans la table 10.

Table 10 : Coefficients utilisés pour la reforestation (tC)

Type de forêts	Biomasse Aérienne (<20ans)	Biomasse Souterraine (<20ans)	Biomasse Aérienne (>20ans)	Biomasse Souterraine (>20ans)
Acacia Sénégal (Plantation 3)	3,76	2,11	3,76	2,11
Stabilisation des dunes (Forêts 4)	0,21	0,08	0.42	0.17

Figure 9 : Bilan carbone de la reforestation

Vegetation Type	face de boisement ou reboisement		Gains de Biomasse		Pertes de Biomasse		Sol		Feu		Sous totaux		Différence		
	Sans Projet		Avec Projet		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec			
	Fin	Dynamique	Fin	Dynamique	tCO2	tCO2	tCO2	tCO2	tCO2	tCO2	tCO2	tCO2			
Acacia Sénégal sur dunes	0	Linéaire	2500	Linéaire	0	-974398	0	9167	0	-166593	0	0	0	-1131824	- 1,131,824
Acacia Sénégal sur terre agri dégradé	0	Linéaire	7500	Linéaire	0	-2923195	0	137500	0	-313294	0	0	0	-3098989	- 3,098,989
Stabilisation des dunes	0	Linéaire	5000	Linéaire	0	-161915	0	18333	0	-333185	0	0	0	-476768	- 476,768
Restoration des Glacis	0	Linéaire	37110	Linéaire	0	-14463969	0	136070	0	-2472902	0	0	0	-16800801	- 16,800,801
Total BtR												0	-21508382	- 21,508,382	

D'autres mesures végétaives concernent le développement du parc arboré sur les terres agricoles. Pour prendre en compte ces surfaces dans le module « Changement d'usage des terres non forestières » il est nécessaire de les convertir en une surface équivalente de plantation (400 arbres par Ha). Avec une approche conservatrice nous ne prendrons pas en compte la synergie entre les cultures et les arbres et la diminution de la concurrence entre les arbres.

La régénération assistée peut être envisagée à grande échelle, promouvant des espèces tel l'Acacia Albida (gao) ou d'autres arbres d'intérêts. Le nombre d'arbres pourrait s'accroître de 10 à 40 arbres par ha tout en accroissant la production agricole. La régénération assistée induit un changement d'usage des terres de $1\ 330\ 350 * (40-10) / 400 = 99\ 776$ ha initialement utilisées comme terres agricoles.

Sur les terres agricoles dégradées la régénération ne peut avoir lieu, le capital semencier du sol étant quasi nul. Dans ce cas les arbres doivent être plantés. Pour faciliter le travail du sol, ces arbres seraient plantés en ligne. Des plantations de 4 à 40 arbres à l'hectare peuvent répondre à un système agroforestier. Le développement de l'agroforesterie concernera 50% des terres agricoles dégradées. Ce système induit un changement d'usage des terres de $25\ 319$ ha initialement en terres agricoles dégradées $((570\ 150 - 7500) * (40-4) / 400 * 50\%)$.

Les arbres choisis étant inclus dans un système agro forestier, et ne répondant pas à la définition d'une forêt Nigérienne, ils sont pris en compte dans le module « culture pérenne », via un changement d'usage des terres de « cultures annuelles » vers « cultures pérennes ». Les coefficients utilisés pour matérialiser le changement d'usage des terres sont présentés dans la Table 11.

Table 11 : Coefficients utilisés pour les changements d’usage des terres (t C/ha)

CUT	Biomasse initiale	Biomasse finale	Sol initial	Sol final
De culture annuelle à culture pérenne	5,0	1,8	18,0	31,0

Le changement d’usage des terres occasionné par des plantations dans le cadre du projet permettrait le stockage de (-) 3,7 million de tCO₂-e en 20 ans.

Figure 10 : Bilan carbone de la régénération assistée et du développement de l’agroforesterie

Emissions de GES Type de succession		Superficies concernées par les CUT				Variation de Biomasse		C org du sol		Feu		Sous totaux		Différence tCO ₂ e
		Sans Projet		Avec Projet		Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	
		Surface	Dynamique	Surface	Dynamique									
CUT-1	Régénération assistée	0	Linéaire	26776	Linéaire	0	117078	0	-4167903	0	0	0	-299715	- 2,997,195
CUT-2	Agroforesterie planté sur terre agricole dégradé	0	Linéaire	25319	Linéaire	0	297079	0	-1057648	0	0	0	-760513	- 760,563
CUT-4	restauration des terre dégradé pour l’agriculture	0	Linéaire	61850	Linéaire	0	-181427	0	-303606	0	0	0	-485033	- 485,033
CUT-5	restauration des terre dégradé pour pastoralism	0	Linéaire	24740	Linéaire	0	-56242	0	-327815	0	0	0	-384058	- 384,058
CUT-7	SANS projet: dégradation des pâtures	600250	Linéaire	0	Linéaire	0	0	2583281	0	0	0	2583281	0	- 2,583,281
CUT-8	SANS projet dégradation des terres agricoles	0	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	0	0	-
CUT-16	terres dégradées fixes	185550	Linéaire	185550	Linéaire	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Total pour Autres CUT													- 7,210,136	

La croissance de la biomasse des arbres représente aussi un stockage de carbone pris en compte dans le module « cultures pérennes ».

Table 12 : Coefficients utilisés pour les cultures pérennes

Taux annuels de croissance des biomasses		Sol (tCO ₂ -e.ha.an)
Biomasse aérienne	Biomasse souterraine	
1,8	0	0,33

Les surfaces de plantations pérennes permettraient le stockage de (-) 14,8 million de tCO₂-e en 20 ans.

Figure 11 : Bilan carbone pour les cultures pérennes

Emissions de GES Type de culture Pérenne		Superficies concernées par les CUT				Variation de Biomasse		C org du sol		Feu		Sous totaux		Différence tCO ₂ eq
		Sans Projet		Avec Projet		Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	
		Fin	Dynamique	Fin	Dynamique									
Système Réserve Pe3	0	Linéaire	125096	Linéaire	0	-14035715	0	-722427	0	0	0	-14758142	-14758142	
Total Syst 1-5	0		0										-14758142	

Agrégées, les mesures végétatives permettraient un stockage de (-) 23,2 million de tCO₂-e en 20 ans sur une surface de 140 095 ha, soit un stock de (-) 8,28 tCO₂-e / ha /an.

3.3.2.2. Mesures agronomiques

Le projet envisage de promouvoir l'usage du tassa pour restaurer 50% les terres agricoles dégradées. La technique du tassa, ou zaï, est le creusement d'une cuvette qui sera amendée avec du fumier. Cette technique améliore le sol agricole sur une surface correspondant uniquement à la cuvette cultivée. L'apport de fumier de 15 à 20 t par ha tous les 3 à 4 ans sur les sols agricoles permet un stockage de (-) 1,54 t CO₂-e par ha et par an⁸. Les cuvettes couvrent seulement 1/8 de la surface du champ et reçoivent 2 à 3 t de fumier tous les 3 à 4 ans. Ainsi uniquement (-) 0,192 t CO₂-e peuvent être comptabilisées pour l'adoption de cette pratique.

Pour entrer ce coefficient Tier 2 dans les calculs du module « culture annuelle », il est nécessaire de convertir les équivalent CO₂ en carbone (C). Le ratio des masses molaires étant de 44/12, le coefficient utilisé dans EX-ACT est de (-) 0,052 tC par ha et par an.

Le projet pourrait sensibiliser les paysans à laisser les résidus de culture au champ. Actuellement les chaumes ne sont pas brûlés mais sont prélevés pour la construction de palissades et ont une valeur marchande. Aussi, la vaine pâture est perçue positivement par les paysans car la transformation de la matière organique des chaumes en excrément permet une fertilisation plus rapidement valorisable dans les sols. Cependant les pertes de matière organique et de fertilisant dues au métabolisme du bétail sont importantes. Terrasser rapidement les chaumes afin de limiter le prélèvement du bétail permettrait un plus grand retour d'éléments fertilisants dans le sol sans empêcher les animaux d'entrer dans les champs. Un objectif de 80% des chaumes retournant au sol tient en compte l'usage local des chaumes pour la construction. Cette pratique peut être évaluée du point de vue carbone comme la catégorie du GIEC «non-labour / gestion du paillis», qui stocke (-) 0,33 t CO₂-e par ha et par an, comme montré dans la Table 13.

Table 13 : Coefficients utilisés pour les cultures annuelles (tCO₂-e/ha/an)

Pratique	Coefficient
Tier 1, apport de fumier (A)	1,54
Tier 1, non labour-gestion du paillis	0,33
Tier 2, Zai (1/8 de (A))	0,193

Figure 12 : Bilan carbone pour les cultures annuelles

Emissions de GES												
Type de Culture	Surfaces		Bilan de CO ₂ du sol				Brûlés		Sous-totaux		Différence	
	Début	Sans Projet	Avec Projet		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec		
	t0	Fin	Dynamique	Fin	Dynamique	tCO ₂	tCO ₂	tCO ₂	tCO ₂	tCO ₂	tCO ₂	
Système réservé A1	0	0	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	
Système réservé A2	7500	7500	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	
Système réservé A3	0	0	Linéaire	61850	Linéaire	0	-327644	0	0	0	-327644	
Système réservé A4	125,096	125,096	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	
système tradi	1,767,905	1,501,835	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	
zai	0	0	Linéaire	281,325,0	Linéaire	0	-947714	0	0	0	-947714	
80% paille	0	0	Linéaire	1,189,263,6	Linéaire	0	-6867997	0	0	0	-6,867,997	
20% non paille	0	0	Linéaire	297,315,9	Linéaire	0	0	0	0	0	0	
SANS dégradation des sols	0	266070	Linéaire	0	Linéaire	2663361	0	0	0	2663361	0	
Total Syst 1-10	1,767,905	1,767,905		1,767,905								
Total Agriculture annuelle										2663361	-8143355	-10806716

⁸ GIEC, 2007.

Ensemble ces mesures agronomiques (zai et gestion du paillis) permettent un stockage d'environ (-) 7,8 millions de tCO₂-e en 20 ans sur une surface 1 470 589 ha, soit (-) 0,27 t CO₂-e par ha et par an.

3.3.2.3. Mesures de gestion

Les mesures végétatives et agronomiques vues précédemment vont avoir lieu sur des terres cultivées, appartenant à des paysans. Ces pratiques permettent une adaptation au niveau du champ, mais pas au niveau de l'ensemble du bassin versant. Or, si l'érosion n'est pas contrecarrée à un niveau plus global, ces mesures peuvent se révéler inutiles. La gestion de l'ensemble du bassin versant est nécessaire pour assurer la durabilité de l'agro écosystème. La restauration des terres pastorales et forestières, des plateaux et collines sont nécessaires pour cela.

La restauration de 40% (266 070 ha) des terres boisées initialement modérément dégradées et dont la densité de couverture est de 160 arbres/ha nécessiterait l'implantation de 160 arbres/ha pour atteindre une densité du couvert forestier de 320 arbres/ha, ce qui correspond à un état faiblement dégradé.

Table 14 : Coefficients utilisés pour la restauration des forêts (t C/ha)

Terres arbustives tropicales (état de dégradation)	Biomasse initiale	Biomasse finale	Sol initial	Sol final
de moyennement à Faiblement dégradé	29,8	39,8	24,8	27,9

La restauration des forêts permettrait un stockage de (-) 12.3 millions de tCO₂-e en 20 ans Figure 13.

Figure 13 : Bilan carbone pour la restauration des forêts

Emissions de GES											
Nom	surface (ha)				Biomasse		Sol		Sous-totaux		Différence tCO ₂
	Sans Projet		Avec projet		Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	
	Fin	Dynamique	Fin	Dynamique							
deg de faible a modere	28,508	Linéaire	28508	Linéaire	1039212	0	283531	0	1322743	0	- 1,322,743
non chang faibl dégradé	256,568	Linéaire	256568	Linéaire	0	0	0	0	0	0	-
deg de modere a fort	66,518	Linéaire	66518	Linéaire	2424829	2424829	661572	661572	3086401	3086401	-
non chang mod degrade	332,588	Linéaire	332588	Linéaire	0	0	0	0	0	0	-
AVEC = restauration des forets	266,070	Linéaire	266070	Linéaire	0	-9699316	0	-2646288	0	-1234560	- 12,345,604
Degradation Total									4409144	-9259203	- 13,668,347

Les terres pastorales dégradées devraient être restaurées pour 50% des surfaces (316 750 ha), par le re-semis d'herbacées dans les zones nues. Ce réensemencement, sans autres apports, peut être considéré comme une « amélioration sans apport d'intrant » dans EX-ACT. Les coefficients utilisés pour évaluer les flux d'émissions sont indiqués dans la Table 15.

Table 15 : Coefficients utilisés pour la réhabilitation des pâtures (t C/ha)

Etat de dégradation des pâtures	Sol initial	Sol final
De Moyennement dégradé à Amélioré sans apport d'intrants	19,9	39,8

Le brûlis des pâtures est supposé être diminué d'un facteur deux. D'après les sources officielles⁹ les feux de brousse brûleraient annuellement 124 054 ha en moyenne sur l'ensemble du Niger. Sur 50 communes, cela représente environ 23 318 ha qui brûleraient annuellement.

Table 16 : Coefficients utilisés pour les feux de brousses

Biomasse aérienne par défaut (t MS/ha)	% Biomasse avant le feu	CH ₄ (kg / t MS)	N ₂ O (kg / t MS)	tCO ₂ -e / ha
2,3	0,77	2,3	0,21	0,201

La restauration des pâtures et la réduction des feux de brousses permettraient un stockage et réduiraient les émissions à hauteur de (-) 14.6 millions de tCO₂-e en 20 ans, auxquels s'ajoutent près de 9 millions de tonnes évitées par la non dégradation des prairies existantes (Figure 14).

Figure 14 : Bilan carbone pour la réhabilitation des prairies

Default		Start t0	Variation du Csol (tCO ₂ e)		Brûlis (tCO ₂ eq)		Sous-totaux (tCO ₂ eq)		Difference tCO ₂ eq
			Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	
Prairie 1	moins de feux	23,318	92769	0	93662	46831	186430	46831	- 139,600
Prairie 3	SANS projet dégradation	2,510,682	9988328	0	0	0	9988328	0	- 9,988,328
Prairie 4	AVEC projet restauration	316750	8190891	-6300685	0	0	8190891	-6300685	- 14,491,576
Total Syst 1-10		3,104,150							
Total Prairie							18365649	-6253855	- 24,619,504

Il n'est pas prévu que le projet change le taux de croissance du cheptel. De façon générale, les éleveurs tendent à augmenter leur nombre de tête de bétail et accroître la mobilité du bétail pour s'adapter aux changements climatiques. Pourtant cette pratique n'est pas soutenable car elle engendre une dégradation des pâtures et des conflits entre éleveurs et cultivateurs.

La restauration des pâtures permettrait de compenser la diminution de la vaine pâture. Les pâtures restaurées permettraient également une meilleure nutrition pour 20% du cheptel.

Table 17 : Coefficients utilisés pour le cheptel

Pratiques de nutrition améliorée	% de GES évité
Bovidés et Ovidés	1

L'amélioration de la nutrition du cheptel évite l'émission de 0,04 millions de tCO₂-e en 20 ans.

⁹ DGEF direction générale de l'environnement et des eaux et forêts

Figure 15 : Bilan carbone pour le cheptel

Émissions de méthane dues à la fermentation entérique															
Type de Bétail	Facteur GIEC	Facteur spécifique Valeur	Nombre de tête (moyennes annuelles)						Emissions annuelles (t CO2eq /an)			Emissions totales (tCO2eq)		Différence	
			Début t0	Sans Projet		Avec Projet		Début	Fin		Période complète				
				Fin	Dynamique	Fin	Dynamique		Sans	Avec	Sans	Avec			
Autres bovins	31	Oui	1460000	1460000	Linéaire	1460000	Linéaire	950,460	950,460	950,460	18,009,200	18,009,200	0		
Moutons	5	Oui	1840000	1840000	Linéaire	1840000	Linéaire	193,200	193,200	193,200	3,864,000	3,864,000	0		
Chèvres	5	Oui	2240000	2240000	Linéaire	2240000	Linéaire	235,200	235,200	235,200	4,704,000	4,704,000	0		
Sous-total 1								1,378,860	1,378,860	1,378,860	27,577,200	27,577,200	0		
MERCI DE SPECIFIER LES INFORMATIONS SUIVANTES															
Type de Pays	Pays en voie de développem.														
Température Moyenne Annuelle (TAM) en °C	30 Possible														
*TAM affecte les émissions de méthane provenant de la gestion du fu															
Techniques additionnelles d'atténuation Voir GIEC 4ème rapport Vol 3 Chapitre 8)															
Type de Bétail	Pratiques Dominantes*	Facteur par défaut	Pourcentage adoptant la pratique (0% = aucun; 100% = tous)						Début			Période complète		Différence	
			Début t0	Sans Projet		Avec Projet		Début	Fin		Période complète				
				Fin	Dynamique	Fin	Dynamique		Sans	Avec	Sans	Avec			
Autres bovins	Pratiques d'alimentation	0.010	0%	0%	Linéaire	20%	Linéaire	0	0	-1,901	0	-33,266	-33,266		
Moutons	Pratiques d'alimentation	0.010	0%	0%	Linéaire	20%	Linéaire	0	0	-386	0	-6,762	-6,762		
Sous-total4								0	0	-2,287	0	-40,028	-40,028		
Pratiques d'alimentation : plus de concentrés, additions d'huiles ou de graines oléagineuses à l'alimentation, amélioration de la qualité des pâturages. Agents spécifiques : Agents spécifiques et additifs alimentaires pour réduire les émissions de CH4 (ionophores, vaccins, BST...) Gestion de la reproduction : Augmenter la productivité grâce à la sélection et de meilleures pratiques de gestion, telles que la réduction dans le nombre de génisses de remplacement											Total "Bétail"		39628176	39588148	-40,028

L'ensemble des mesures de gestion permet un stockage de (-) 27.0 millions de tCO₂-e en 20 ans sur 606 138 ha, soit (-) 2,22 t CO₂-e par ha et par an.

3.3.2.4. Mesures structurales

On suppose que le projet permettra de reconverter 40 % (soit 123 700 ha) des terres dégradées pour différents usages. Les types d'aménagements (nature et fonction) destinés à restaurer ces terres dégradées sont fonction de la topographie des lieux.

En effet, la nature des ouvrages est fortement liée à la situation dans le bassin versant et à la pente de la zone à restaurer. Certaines mesures de restauration des terres dégradées nécessitent un aménagement lourd, combinant tranchées, banquettes et demi-lunes. Plus la pente est forte et le débit d'eau important, plus les ouvrages nécessitent une construction robuste et donc onéreuse.

Du fait de la grande superficie couverte par la récupération des terres, l'analyse prendra uniquement en compte des ouvrages de type « demi-lune ». En effet, de nombreux ouvrages (micro-barrages, tranchées) ont des surfaces limitées et des impacts sur le bilan carbone également négligeable. Il est cependant important de souligner que ces ouvrages doivent être implémentés de manière conjointe afin d'être efficaces. En effet, plus les écoulements des eaux de surfaces sont maîtrisés en amont, plus les structures résisteront au temps. La fonction des ouvrages peut aussi varier. Ces aménagements peuvent être productifs pour l'agriculture, le pastoralisme et la foresterie. Dans les zones les plus inaccessibles et/ou fragiles, l'implantation d'une végétation ligneuse ou herbacée permanente est nécessaire à la pérennité de l'ouvrage. Ailleurs, la culture peut aussi être réalisée dans ces ouvrages, profitant d'une meilleure alimentation en eau et d'une concentration en éléments fertilisants. Dans ce cas la présence de l'homme est aussi un facteur de durabilité, le cultivateur entretenant les ouvrages dont il dépend.

Sur ce potentiel de surface à améliorer, 30% soit 37 110 ha sont destinées au boisement, dans des zones sensibles à proximité des zones cultivées, 50% soit 61 850 ha seront converties pour l'agriculture et enfin les 20% restant (24 740 ha) seront restaurées pour le pastoralisme..

Il est important de noter que la construction de demi-lunes ne couvre pas toute la surface des zones restaurées. Avec 313 ouvrages de 6,28 m² à l'hectare, la zone réellement couverte par la récupération des glacis ne représente que 20% ((313*6,28) / 10 000) de la surface potentielle à améliorer. Ainsi les coefficients doivent être réajustés comme suit :

Table 18 : Coefficients utilisés pour la restauration des glacis (t C/ha)

CUT	Biomasse initiale (A)	Biomasse finale (B)	Sol initial (C)	Sol final (D)
Tier 1 = De terres dégradées à cultures annuelles	1,0	5,0	10,2	18,0
Tier 1 = De terres dégradées à prairies	1,0	4,1	10,2	31,0
Tier 2 = De terres dégradées à cultures annuelles	1,0 (A)	1,8 (B*20%+ A*80%)	10,2 (C)	11,76 (C*20%+ D*80%)
Tier 2 = De terres dégradées à prairies	1,0 (A)	1,62 (B*20%+ A*80%)	10,2 (C)	14,36 (C*20%+ D*80%)

La reforestation des glacis stockerait 16.8 millions de tCO₂-e en 20 ans et 0.87 millions de tCO₂-e via leur restauration pour l'agriculture et le pastoralisme (Figure 16 et Figure 17).

Figure 16 : Bilan carbone pour la reforestation des

Vegetation Type	face de boisement ou reboisement				Gains de Biomasse				Pertes de Biomasse		Sol		Feu		Sous totaux		Différence tCO ₂	
	Sans Projet		Avec Projet		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec		
	Fin	Dynamique	Fin	Dynamique														tCO ₂
Acacia Sénégal sur dunes	0	Linéaire	2500	Linéaire	0	-974398	0	9167	0	-166593	0	0	0	0	0	-1131824	-	1,131,824
Acacia Sénégal sur terre agri dégradé	0	Linéaire	7500	Linéaire	0	-2923195	0	137500	0	-313294	0	0	0	0	0	-3096989	-	3,096,989
Stabilisation des dunes	0	Linéaire	5000	Linéaire	0	-161915	0	18333	0	-333185	0	0	0	0	0	-476768	-	476,768
Restoration des Glacis	0	Linéaire	37110	Linéaire	0	-14463969	0	136070	0	-2472902	0	0	0	0	0	-1680080	-	16,800,801
Total B/R															0	-21508382	-	21,508,382

Annual-System A2

Figure 17 : Bilan carbone pour le CUT de glacis à prairies et culture annuelle

Type de succession	Superficies concernées par les CUT				Variation de Biomasse		C org du sol		Feu		Sous totaux		Différence tCO ₂	
	Sans Projet		Avec Projet		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec		
	Surface	Dynamique	Surface	Dynamique										tCO ₂
CUT-1 Fénération assistée	0	Linéaire	26976	Linéaire	0	1170708	0	-4167903	0	0	0	-2997195	-	2,997,195
CUT-2 Agroforesterie planté sur terre agricole dégradé	0	Linéaire	25319	Linéaire	0	237079	0	-1057648	0	0	0	-760569	-	760,569
CUT-4 restauration des terre dégradé pour l'agriculture	0	Linéaire	61850	Linéaire	0	-181427	0	-303606	0	0	0	-485033	-	485,033
CUT-5 restauration des terre dégradé pour pastoralism	0	Linéaire	24740	Linéaire	0	-56242	0	-327815	0	0	0	-384058	-	384,058
CUT-7 SANS projet: dégradation des pâtures	62350	Linéaire	0	Linéaire	0	0	2583281	0	0	0	2583281	0	-	2,583,281
CUT-8 SANS projet dégradation des terres agricoles	0	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
CUT-16 terres dégradées fixes	105550	Linéaire	105550	Linéaire	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Total pour Autres CUT											2583281	-4626855	-	7,210,136

Les ouvrages agricoles nécessitent un apport régulier de fumier. Comme pour le zai, toute la surface ne peut être comptabilisée. Avec 313 ouvrages de 6.28 m² à l' ha, cette pratique permet le stockage de 0,086 tC par ha et par an.

Cette pratique permet le stockage de 0,33 millions de tCO₂-e en 20 ans (Figure 18).

Figure 18 : Bilan carbone pour les demi-lunes agricoles

Emissions de GES												
Type de Culture	Surfaces		Bilan de CO ₂ du sol				Brûlis		Sous-totaux		Différence tCO ₂	
	Début t0	Sans Projet Fin	Avec Projet Dynamiq Fin	Avec Projet Dynamique Fin	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂	Sans tCO ₂	Avec tCO ₂		
Système réservé A1	0	0	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	0
Système réservé A2	7500	7500	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	0
Système réservé A3	0	0	Linéaire	61850	Linéaire	0	-327644	0	0	0	-327644	- 327,644
Système réservé A4	125,096	125,096	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	0
Système annuel 1	1,767,905	1,501,835	Linéaire	0	Linéaire	0	0	0	0	0	0	-
Système annuel 2	0	0	Linéaire	281,325.0	Linéaire	0	-947714	0	0	0	-947714	- 947,714
Système annuel 3	0	0	Linéaire	1,189,263.6	Linéaire	0	-6867997	0	0	0	-6867997	- 6,867,997
Système annuel 4	0	0	Linéaire	297,315.9	Linéaire	0	0	0	0	0	0	-
Système annuel 5	0	266070	Linéaire	0	Linéaire	2663361	0	0	0	2663361	0	- 2,663,361
Total Syst 1-10	1,767,905	1,767,905		1,767,905								
Total Agriculture annuelle									2663361	-8143355	-10806716	

Ensemble ces pratiques structurales permettent un stockage de 17,9 millions de tCO₂-e en 20 ans sur 123 700 ha, soit (-) 7,27 t CO₂-e par ha et par an.

3.3.3. Récapitulatif de l'impact du scénario avec le projet PACRC

Les différentes mesures de GDT identifiées avec la mise en œuvre du PACRC sont toutes des puits de carbone. Les mesures qui présentent les puits les plus importants par hectare sont celles liées à la restauration des terres dégradées et les mesures végétales. Cependant, celles qui ont le plus d'impact sont les mesures de gestions des forêts et des prairies, du fait de la plus grande surface concernée (Table 19)

Table 19 : Récapitulatif des puits de carbone avec projet

Mesures du projet	MTCO ₂ -e en 20 ans	t CO ₂ -e / ha / an
Végétales	(-) 23,2	(-) 8,28
Agronomiques	(-) 7.8	(-) 0,27
De gestion	(-) 27.0	(-) 2,22
Structurales	(-) 17,9	(-) 7,27
TOTAL	(-) 76	

4. RESULTATS GLOBAUX DU BILAN CARBONE

Le bilan carbone final du projet PACRC est calculé en comparant le scénario dans lequel les activités de projet sont mise en œuvre avec le scénario sans projet au cours duquel aucune amélioration ne serait apportée et où la dégradation des terres s'accroîtrait.

La situation sans projet est une source de GES, issue principalement de la dégradation progressive des terres. La dégradation des prairies par les effets combinés des sécheresses et du surpâturage, pourrait libérer 21 millions de tCO₂-e en 20 ans. Sans projet, les terres boisées sont aussi sensées se dégrader, les prélèvements étant supérieurs à la capacité de renouvellement des arbres et le pâturage empêchant la régénération de la forêt. Cette dégradation serait une source de GES à hauteur de 4.4 millions de tCO₂-e en 20 ans. Sans

projet, les agriculteurs sont supposés ne pas pouvoir lutter contre la dégradation des sols. Celles-ci entraîneraient un relargage de 2,7 millions de tCO₂-e dans l'atmosphère en 20 ans.

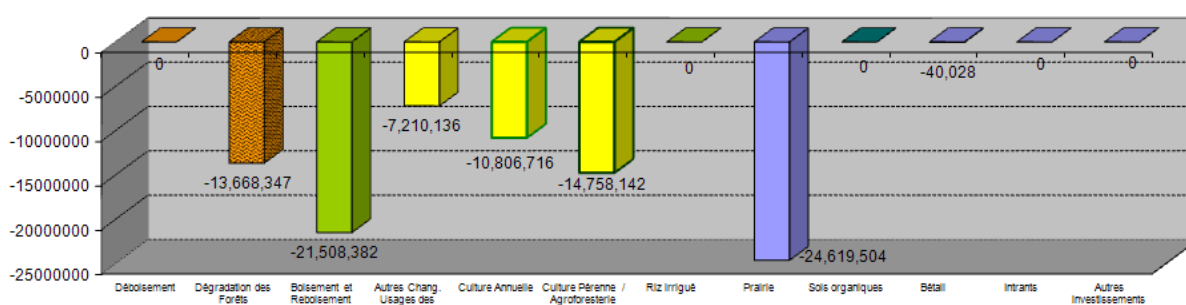
La partie du projet PACRC étudiée propose d'accroître la résilience de l'agro-écosystème afin de permettre l'adaptation des ses usagers aux pressions exercées par le changement climatique. Le projet utilisera des mesures de GDT pour accroître la production d'une manière durable. Grace au projet, des mesures agronomiques seront introduites. Avec l'hypothèse de leur adoption rapide, les paysans pourraient stocker 7.8 millions de tCO₂-e dans leurs sols en 20 ans (0,27 tCO₂-e/ha/an). Parallèlement, le renforcement du parc arboré est promu pour accroître la fertilité et améliorer le micro-climat. Ces mesures de végétalisation seraient capables de stocker 23,2 millions de tCO₂e dans la biomasse de ces arbres, en 20 ans. Les mesures de gestion du bassin versant sont nécessaires pour pérenniser les investissements précédents. La meilleure gestion des pâtures et terres boisées permettrait un stockage de 27.0 millions de tCO₂e dans le sol et la biomasse. Enfin, la restauration des terres dégradées/glacis permettrait quant à elle un stockage de 17,9 millions de tCO₂-e en 20 ans (7,27 tCO₂e/ha/an).

Table 20 : Potentiel d'atténuation du projet PACRC (M tCO₂-e)

	Avec Projet	Sans Projet
Source de GES	(+) 39.6	(+) 67.6
Puits de GES	(-) 64.5	0
Bilan carbone	(-) 92.6	

Le bilan carbone total du projet décrit un puits de 93 millions de tCO₂-e en 20 ans. La surface concernée par le projet étant de 6,36 million d'ha, le puits ramené à l'hectare correspond à 14.6 tCO₂-e.ha⁻¹ en 20 ans ou 0.73 tCO₂-e.ha⁻¹.an⁻¹.

Figure 19 : Bilan carbone par modules d'EX-ACT



Le potentiel de mitigation total du projet calculé avec l'outil EX-ACT montre la répartition des puits de carbone. Le principal puits est l'amélioration de la gestion et de l'état des prairies (24,6 M tCO₂-e dus à 75% à l'action du projet). Les plantations d'Acacia Sénégal et la stabilisation des dunes sont un puits uniquement du à l'activité du projet (21,5 M tCO₂-e). De la même manière la régénération assistée et l'agroforesterie (cultures pérennes) permettent un stockage de 14,7 M tCO₂-e. Les CUT et les changements de pratiques agricoles (cultures annuelles) comptabilisent quant à eux 18.0 M tCO₂-e dus à 29 % à l'activité du projet.

L'effort nécessaire à l'adaptation de l'ensemble de l'agro-système est proactif, il va bien au-delà du simple maintien du potentiel actuel.

5. ANALYSE DE SENSIBILITE

5.1. Choix du climat dominant

Le bilan carbone a été mené à l'échelle de 50 communes, dans la zone Sahélo Saharienne sous un climat tropical sec où les précipitations annuelles moyennes sont inférieures à 1000 mm. Ces facteurs influent sur la séquestration de carbone. L'influence des changements climatiques pourrait diminuer l'apport pluviométrique. Cependant, une pluviométrie inférieure à 1000 mm/an reste catégorisée comme un climat sec, on ne peut choisir de climat plus sec sous EX-ACT. En conséquence le bilan carbone ne pourrait pas être modifié en raison du choix du climat.

5.2. Choix du type de sol dominant

L'influence du type de sol peut être évaluée, car des sols à argiles 1 :1 existent bien dans la zone de projet. Ils représentent une minorité de sol, mais sont particulièrement recherchés pour l'agriculture. En prenant en compte ce type de sol, le bilan carbone est de -96.7 millions de tCO₂-e évités en 20 ans, soit un gain de 4% par rapport au bilan carbone effectué avec des sols sablonneux dominants.

La différence est relativement faible, mais indique tout de même que le choix d'un sol sablonneux suit une approche plus conservatrice.

5.3. Adoption des pratiques de GDT

La sensibilité du bilan carbone dépend d'avantage du taux de réalisation des activités résilientes soutenues par le projet. La Table 21 représente la répartition du bilan carbone en fonction du type de propriété des terres. Pour la construction de cette table, il est assumé que les forêts naturelles et replantées ainsi que les prairies sont des biens libres d'accès (propriété commune). On suppose que les plantations d'Acacia Sénégal sont gérées par un groupe (propriété de club) et les terres agricoles sont toutes en propriété individuelle (propriété privée).

Table 21 : Bilan carbone affecté par type de propriété (M tCO₂-e)

Type propriété de	Sans projet	Avec projet	Bilan	Ratio	Sensibilité
Commune	(+) 25.4	(-) 34.5	(-) 59.9	65%	+++
De Club	0	(-) 4,1	(-) 4,1	4%	++
Privé	(+) 2,7	(-) 25.9	(-) 28.6	31%	∅

Un quart du potentiel dépend de l'adoption des pratiques par les paysans (restauration du parc arboré, restauration des terres agricoles dégradées). Ces pratiques nécessitent un investissement en temps de travail lors des premières années mais s'avérerait rentable à court terme. Les paysans perçoivent rapidement l'intérêt de ces pratiques. Avec relativement peu

de moyens d'incitation, les paysans peuvent adopter massivement une gestion durable des terres.

La propriété supposée collective des plantations d'Acacia Sénégal requiert une organisation sociale pour gérer l'implémentation des plantations. Cette organisation peut s'avérer efficace pour mobiliser les besoins de travail et répartir les gains. Cependant l'investissement initial (plants, protection des plants) requiert un investissement hors de portée des paysans.

Les activités de gestion des terres communes (stabilisation des dunes, restauration des glacis, des prairies et des forêts) sont essentielles pour la durabilité de l'agro-écosystème. En effet, le couvert végétal des terres communes est essentiel pour assurer une infiltration de l'eau et recharger les nappes phréatiques, prévenir l'érosion et créer un microclimat favorable par évapotranspiration. Cependant, le retour sur investissement du travail nécessaire à la restauration de ces pâtures s'inscrit dans le long-terme et les bénéfices sont partagés entre tous les groupes professionnels (agriculteurs pour la gestion de l'eau et la prévention de l'érosion, et pastoralistes pour la ressource fourragère). Aucune organisation sociale endogène n'est actuellement en capacité de gérer cette problématique. Ainsi les moyens nécessaires pour gérer ces terres demandent un investissement conséquent pour réaliser les ouvrages et une sensibilisation profonde des acteurs pour garantir leur bon fonctionnement.

6. CONCLUSIONS

Le PACRC est un projet d'adaptation des populations du sahel Nigérien sensibles au changement climatique. Le projet tentera, avec une approche participative, de renforcer la résilience de ces populations, grâce à une amélioration des capacités des structures dirigeantes, l'établissement de filets de sécurité pour les plus pauvres et finalement l'accroissement de la résilience de l'agro-écosystème par la promotion des pratiques de GDT.

Ce document vise à présenter le possible co-bénéfice de ce projet en termes d'atténuation du changement climatique. Ce potentiel est évalué en analysant le bilan carbone des activités du projet ayant un impact sur les usages des terres et les changements de pratiques agricoles et forestières.

L'approche participative et la non connaissance d'un état de référence sont deux obstacles majeurs à l'analyse du bilan carbone ex-ante. C'est pourquoi il a été choisi de simuler une zone d'intervention type sur laquelle la restauration des terres et les bonnes pratiques agricoles ont été envisagées à l'échelle de ce qui serait techniquement réalisable pour assurer une adaptation de l'agro-écosystème.

Cette méthode permet de mieux prendre en compte le potentiel de mitigation existant (93 MtCO₂-e) sur la zone d'intervention type. Bien entendu, une fois la zone du projet clairement identifiée, ses usages de terres et ses pratiques actuelles définies, le bilan carbone sera amené à changer. C'est pourquoi une formation de base à l'utilisation de l'outil EX-ACT a été dispensée à Niamey. Cela a notamment permis d'identifier plusieurs participants qui pourraient être aptes à travailler ensemble pour ajuster le bilan carbone en fonction de l'adoption pragmatique des pratiques de GDT par les paysans dans la zone d'intervention.

Le bilan carbone réalisé aura permis de mettre en avant une externalité positive de la promotion des pratiques d'adaptation. En effet, toutes les mesures d'adaptation évaluées participent également à l'atténuation du changement climatique.

L'adaptation et l'atténuation allant de paire, l'indicateur d'atténuation obtenu (bilan carbone) pourrait alors être également utilisé comme indicateur indirect de l'adaptation des systèmes de cultures.

Si les actions sont à priori efficaces dans les zones vulnérables identifiées, elles contribueraient donc à lutter directement contre le changement climatique. Dans le cas contraire, des mesures de sortie de l'agriculture et de la ruralité pourraient être plus efficaces, avant la diminution progressive et absolue des capacités des paysans. Cependant, cette option de fuite ne ferait que reporter le problème dans le temps vers l'actuelle zone Sahélienne, la désertification continuant d'avancer vers le Sud.

7. LINKS TO OTHER EASYPOL MATERIALS

This module belongs to a set of EASYPol modules and other related documents. See EASYPol Module 101 below:

- [EX-ante Carbon-Balance Tool : Software](#)
- [EX-ante Carbon-Balance Tool : Technical Guidelines](#)
- [EX-ante Carbon-Balance Tool : Brochure](#)
- EX-ACT policy briefs, available on the [EX-ACT website](#)

See all EX-ACT resources in EASYPol under the Resource package, [Investment Planning for Rural Development - EX-Ante Carbon-Balance Appraisal of Investment Projects](#)

8. FURTHER READINGS

Ballet, J., Froger, G., Marzouki, M., Randrianalijaona, T.M., 2011. *Evaluer les relations entre pauvreté et environnement : Un regard critique*. Disponible sur : http://madarevues.recherches.gov.mg/revues/adecoxfiles/1.7.Jerome_BALLET.pdf

Bationo A., Kihara J., Vanlauwe B., Waswa B., Kimetu J., 2007. *Soil Organic Carbon Dynamics, Functions and Management in West African Agro-Ecosystems*, Agricultural Systems, Disponible sur : Science Direct: http://www.zef.de/module/register/media/18ea_sdarticle.pdf

GIEC, 2006. *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, Volume 4 Agriculture, foresterie et autres affectations des terres*. Disponible sur : <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/index.html>

Koull, N., 2007. *Effet de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région de Ouargla Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie*. Disponible sur : http://www.memoireonline.com/03/11/4331/m_Effet-de-la-matiere-organique-sur-les-proprietes-physiques-et-chimiques-des-sols-sableux-de-la-r0.html

Lal R., 2004. *Carbon Emission from Farm Operations*. *Environment International*, v. 30, p. 981–990. Elsevier Science Direct. Disponible sur:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412004000832>

République du Niger, 2009. *Seconde communication nationale sur les changements climatiques élaborée par le Conseil National de l'Environnement pour un Développement Durable* Secrétariat Exécutif. Communication disponible sur :
<http://unfccc.int/resource/docs/natc/nernc2f.pdf>

République du Niger, 2006. *Programme d'action national pour l'adaptation aux changements climatiques*. Programme disponible sur : <http://unfccc.int/resource/docs/napa/ner01f.pdf>

Sen, A., 1999, *Development as Freedom*, Oxford: Oxford University Press, UK.