

REPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple-Un But-Une Foi

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS
SECONDAIRE SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Projet PNUD/GEF / MLI/97/G32

**STRATEGIE D'ATTENUATION DES
EMISSIONS DE GES :
SECTEUR DE L'AGRICULTURE**

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

Septembre 1999

SOMMAIRE

I. Introduction	4
II. Situation de base.....	5
2.1. Présentation de l'Office du Niger.....	5
2.2. Système de production à l'Office du Niger.....	7
2.3. Collecte des données existantes.....	10
2.4. Caractéristiques actuelles de la filière riz.....	11
2.5. Les perspectives de la filière rizicole.....	12
2.6. Plan d'extension des périmètres en ha.....	14
2.7. Les émissions de GES à l'Office du Niger en 1995.....	15
III. Scénario de base	16
3.1. Les données de base sur la culture du riz à l'Office du Niger de 1995 à 2025.....	16
3.2. Calcul des émissions dans le cas du scénario de base.....	20
IV. Les mesures et technologies d'atténuation.....	24
4.1. Amélioration de la gestion des troupeaux.....	24
4.2. Adoption de pratique de gestion des fumiers pour la récupération du CH ₄	24
4.3. Amélioration des pratiques rizicole.....	24
4.4. Utilisation plus efficace des engrais azotés.....	24
V. Stratégies d'atténuation des émissions de GES à l'Office du Niger.....	25
5.1. Introduction.....	25
5.2. Les Stratégies d'atténuation.....	25
5.2.1 Option d'atténuation n°1 : Amélioration de la gestion de l'eau.....	25
5.2.2. Option d'atténuation n°2 : Meilleur usage des techniques de fertilisation.....	38
Conclusion.....	59
Références bibliographiques.....	60

SIGLES

ON :	Office du Niger
OHVN :	Office de la Haute Vallée du Niger
GES :	Gaz à Effet de Serre
IPCC :	Intergouvernemental panel on Climate Change ou
GIEC :	Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'étude du Climat
CH ₄ :	Méthane
N ₂ O :	Dioxyde d'azote
CO ₂ :	Dioxyde carbone
NO _x :	Oxydes d'azote
CO :	Monoxyde de carbone
PPIV :	Petits Périmètres Villageois
PRG :	Potentiel de Réchauffement Global
TE-CO ₂ :	Tonne Equivalent CO ₂
CRA :	Centre de recherche agronomique
IER :	Institut d'Economie Rurale
Gg :	Gigagramme – 10 ⁹ grammes
KF :	Kilo-francs
KFCFA :	Kilo-francs CFA (1 KFCFA = 1000 F CFA ≈ 2 \$US)

RESUME

L'inventaire des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) mené dans le cadre du projet régional RAF/93/G31 a permis d'identifier le secteur de la riziculture irriguée comme l'une des plus grande source au Mali à cause des émissions de méthane.

Une analyse de la gestion de l'eau d'irrigation et la substitution partielle des engrais chimiques par la fumure organique respectivement comme option d'atténuation des émissions de méthane (CH_4) et de dioxyde d'azote (N_2O) a été effectuée dans le cadre du projet régional PNUD/FEM/RAF/93/G31. Cette analyse a été complétée dans le cadre du présent projet par :

- L'étude de l'utilisation de l'azolla comme substitut partielle, à l'urée dans la riziculture irriguée.
- L'analyse plus fine des avantages et coûts des différentes options d'atténuation.

La comparaison des coûts de la tonne de CO_2 évitée pour les deux options jusqu'à l'horizon 2025 a permis de constater que la gestion de l'eau d'irrigation est l'option la plus avantageuse en terme de TE- CO_2 évité. Cependant, compte tenu des avantages non chiffrés des autres options, il est recommandé d'associer toutes les options notamment pour la protection des terres contre la dégradation.

Les co-auteurs de l'amélioration du document de base sont :

Monsieur Sidi Konaté, ENI

Monsieur Abdoulaye Bayoko, Coordinateur National du projet GEF MLI/97/G32.

I. INTRODUCTION:

Au Mali après le secteur de l'énergie, celui de l'agriculture constitue la deuxième source importante d'émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) en 1995 (qui a été choisie comme année de base dans le cadre des études d'inventaires de GES) [1]. L'agriculture a de ce fait été choisie (en plus de l'énergie) comme secteur d'étude dans le cadre des stratégies d'atténuation des émissions de GES au Mali.

Les principaux GES (dont les PRG sont connus) qui sont émis dans le secteur de l'agriculture sont le méthane (CH_4) qui provient de la riziculture et de l'élevage ainsi que le dioxyde d'azote (N_2O) dû à l'utilisation des engrais chimiques. L'analyse des émissions en 1995 dans le secteur de l'agriculture fait ressortir la prédominance des émissions de méthane par rapport aux autres types de GES, la riziculture et l'élevage sont ainsi les principales sources d'émissions de GES au Mali dans le secteur de l'agriculture.

Il existe actuellement plusieurs types de riziculture au Mali: la riziculture à submersion libre (où le riz est cultivé au fil des pluies et des inondations) qui est pratiquée surtout sur les bords du fleuve Niger, la riziculture irriguée avec maîtrise totale de l'eau qui est pratiquée dans la zone Office du Niger, ainsi qu'à Sélingué et Baguineda, et la riziculture à submersion contrôlée qui concerne les opérations riz de Ségou et de Mopti.

Avec les superficies exploitées en 1995 (année de référence), les émissions de GES dans la riziculture à submersion libre sont plus importantes que dans le cas de la riziculture avec maîtrise totale de l'eau (cf document d'inventaires).

Mais actuellement la politique de développement définie par les autorités consiste à créer l'abondance partout où la vocation naturelle d'une zone le permet afin que chaque citoyen ait accès à la quantité et à la qualité.

Dans cette optique le Mali recèle de grandes potentialités pour le développement de la riziculture: les terres rizicultivables sont estimées à plus de deux millions d'hectares dont l'irrigation se fait en submersion contrôlée ou en maîtrise totale de l'eau, répartis entre différentes régions du pays.

Ainsi l'Office du Niger avec la vocation naturelle de production de riz doit à terme occuper une place stratégique dans la production en quantité et en qualité du riz pour tendre vers l'équilibre de la filière rizicole.

En effet l'existence à l'Office du Niger de grandes infrastructures hydrauliques permettant de mobiliser des ressources en eau largement suffisantes, des sols de qualité d'environ 960 000 ha irrigables gravitairement, un climat sain, et la présence d'agriculteurs ayant acquis une bonne maîtrise dans la conduite des irrigations, créent des conditions exceptionnellement favorables à l'intensification de la production rizicole.

Ces avantages sus mentionnés permettent d'affirmer que la production de riz à l'Office du Niger est la moins chère au Mali. Les infrastructures de base (réseaux de transport de l'eau) et leurs ouvrages permettent à présent d'irriguer aujourd'hui près de 200 000 ha moyennant un redimensionnement des canaux primaires (l'eau n'étant plus actuellement une contrainte).

Ainsi depuis 1997 le programme d'accroissement de la production rizicole ambitionne de couvrir les besoins en riz du pays à partir de l'Office du Niger. De 1947 (année de mise en eau du barrage de Markala) à 1997, les superficies aménagées sont de l'ordre de 60 000 ha, l'objectif porte sur 100 000 ha nouveaux dont une première tranche de 60 000 ha à court terme (dans 10 ans). Cette intensification de la riziculture peut entraîner aussi une augmentation des émissions de CH₄ et N₂O dans la zone Office si des mesures de préservation de l'environnement ne sont pas prises.

En plus de la production du riz, on assiste actuellement à une diversification des cultures dans la zone Office du Niger; les autres spéculations sont la culture maraîchère, l'arboriculture (agrumes, mangues, papaye), la masiculture et la pisciculture. La zone Office du Niger est aussi un lieu d'élevage (surtout des bovins). La protection de l'environnement fait actuellement l'objet d'une attention particulière notamment par des opérations de reboisement.

L'horizon temporel qui a été choisi pour ces études d'atténuation est l'an 2025 qui a été aussi retenu par le gouvernement malien pour faire une planification des ressources. A ce titre, des enquêtes seront menées dans tout le pays pour assurer une utilisation efficiente des ressources disponibles dans le cadre d'un développement durable d'ici l'an 2025.

De 1995 à l'an 2025, les émissions de GES ainsi que les facteurs qui les engendrent dans le secteur de l'agriculture dans la zone Office du Niger seront quantifiées et analysées dans le cadre d'un scénario de base, et des propositions de diminution du taux d'accroissement des émissions ainsi que les coûts afférents seront formulés dans le scénario d'atténuation des émissions.

II. LA SITUATION DE BASE:

2.1. Présentation de l'Office du Niger:

2.1.1. Historique:

Terre de promesse, la région mise en valeur par l'Office du Niger se situe dans la partie occidentale du Delta Central Nigérien, vaste zone alluviale où s'étalent les eaux de crue du fleuve Niger avant de s'écouler vers le Sud-Est et de traverser successivement les états du Niger et du Nigéria pour rejoindre l'Océan Atlantique (figure 2.1).

On découvre en effet, à l'aval de Ségou, une immense zone de sols alluviaux dont la fertilité et la topographie sont favorables au développement des cultures irriguées mais dont le cours du Niger s'est détourné, en faisant un "delta mort"; l'Office du Niger y constitue aujourd'hui un îlot de relative prospérité dans une région presque déserte, envahie par la savane et la forêt d'épineux d'où émergent les grands baobabs. A ce "delta mort" succède vers l'est la zone lacustre du "delta vif", périodiquement envahie par la crue du Niger, région de pâturages à Bourgou (*Echinochloa stagnina*) où le riz est traditionnellement cultivé au hasard des pluies et des inondations.

Les apports du fleuve Niger, à l'amont immédiat de son Delta Central, s'élèvent en moyenne à 46 milliards de mètres cubes dont on peut estimer que plus de la moitié se perd par évaporation dans les zones lacustres; ces apports annuels sont encore de 29 milliards de mètres cubes en année décennale sèche avec une pointe de crue en septembre-octobre et un débit pratiquement nul durant les trois mois d'étiage naturel de mars-avril et mai.

La mise en service du barrage de Sélingué construit sur le Sankarani, affluent du Niger, permet de garantir un débit d'étiage de l'ordre de 150 m³/s.

L'importance de telles ressources ne pouvait que frapper l'imagination des responsables du développement et alimenter d'immenses espoirs pour une région du monde durement frappée par la sécheresse et par la faim.

Les premières reconnaissances et les premiers programmes d'aménagement hydroagricole furent lancés par l'administration française de 1919 à 1929, au lendemain de la 1^{re} guerre mondiale qui a coïncidé, dans les régions sahéliennes, avec une période de sécheresse prolongée et une famine meurtrière. L'ambition était alors de développer les irrigations sur une superficie potentielle de l'ordre du million d'hectares. Les premiers travaux ont commencé en 1932 avec la création de l'Office du Niger. De 1947, année de mise en eau du barrage de Markala sur le Niger, jusqu'en 1960, la construction des infrastructures hydrauliques s'est poursuivie pour desservir une superficie actuellement irrigable de 60 000 ha.

2.1.2. Le barrage de Markala:

Le barrage de Markala (qui est un barrage de dérivation), oeuvre maîtresse, comprend un barrage à hausses mobiles de 815m de longueur surmonté d'un pont métallique et équipé de vannes permettant de relever le niveau de l'eau dans le Niger de 5 m au-dessus des eaux moyennes; il est prolongé par une digue en terre de 1800 m de long. Les eaux sont dérivées en rive gauche du Niger, un peu en amont de Markala, et conduites par un grand canal adducteur de 9 km de longueur jusqu'aux ouvrages de prise du point A.

Chacun de ces ouvrages, équipé de vannes manoeuvrées électriquement, alimente respectivement les trois systèmes du Sahel, du Kala Supérieur et du Macina.

2.1.3. Vocation de l'Office du Niger:

L'Office du Niger fut créé en 1932 sous la forme d'un établissement public doté de la responsabilité civile et de l'autonomie financière avec, pour mission, l'étude, l'aménagement et la mise en valeur de la vallée du Niger.

Les cultures primitivement proposées étaient le riz et le coton, cultures considérées comme bien adaptées aux conditions du milieu et pour lesquelles il existait une forte demande intérieure et à l'exportation.

Le mode de culture envisagé était relativement extensif en raison des tailles d'exploitation qui avaient été fixées pour tenir compte des conditions difficiles de peuplement, sans pour autant retarder l'utilisation d'infrastructures principales nécessairement lourdes.

Le peuplement lui-même a été organisé de façon autoritaire avec l'installation d'immigrants plus ou moins volontaires et fortement encadrés.

Après la remise de l'Office du Niger à l'état Malien par l'administration française en 1961, la contribution à l'équilibre vivrier du pays est devenue sa mission principale.

Le coton, précédemment cultivé sur 8 000 hectares, a été progressivement remplacé par le riz qui est actuellement cultivé sur environ 60 000 ha par des exploitations familiales dont la superficie moyenne est de l'ordre de 7 ha. La culture attelée s'est substituée à l'utilisation des

tracteurs pour la préparation du sol; dans le même temps, la canne à sucre irriguée a été introduite avec une assistance chinoise sur près de 3 000 ha exploités directement par l'Office.

Doté d'installations agro-industrielles et contrôlant la quasi-totalité de la production agricole sur les terres dont il assure la gestion, l'Office du Niger constituait la plus grande entreprise industrielle et commerciale du Mali. Il fournissait en année normale, les 2/3 du riz commercialisé et la totalité du sucre produit au Mali. Il assurait, en même temps, la subsistance de plus de 5 000 familles de colons (soit plus de 60 000 personnes installées dans les villages de culture), ainsi que l'emploi de plusieurs milliers de salariés permanents ou temporaires.

2.1.4. La restructuration de 1994:

Une restructuration profonde des missions de l'Office du Niger est intervenue en mars 1994. Lors de cette restructuration, l'Office du Niger a été dessaisi de beaucoup d'activités comme la gestion des ateliers, des rizeries, de la production, etc. Les nouvelles missions qui ont été assignées à l'Office du Niger après cette restructuration ont été définies par une loi.

En effet la loi 94/004 -AN-RM du 09 mars 1994 confère à l'Office du Niger les missions suivantes:

- la maîtrise d'ouvrage déléguée;
- la maintenance des aménagements;
- la gestion des eaux;
- le conseil rural;
- l'assistance aux exploitants dans l'approvisionnement en intrants et matériels agricoles.

Ces missions concourent à un transfert des compétences progressif aux organisations paysannes en faveur de la décentralisation.

2.2. Le Système de production à l'Office du Niger:

Le type de riziculture pratiqué à l'Office du Niger est la riziculture irriguée par gravité (maîtrise totale de l'eau). Les casiers rizicoles sont alimentés à partir d'un réseau de canaux issus d'une retenue située en amont (barrage de Markala). L'écoulement de l'eau est gravitaire.

En marge de la riziculture, la diversification des systèmes de culture et des spéculations est surtout remarquable à travers le maraîchage pour lequel les exploitants manifestent un intérêt toujours croissant.

Les étangs de pisciculture et les activités de reboisement se multiplient également dans la zone.

2.2.1. Les techniques d'irrigation:

Il est à noter qu'avec les perturbations persistantes des données hydrologiques depuis les années 1970 les débats de choix entre la submersion contrôlée et la maîtrise totale de l'eau s'avèrent être aujourd'hui des faux débats et dépassés.

Eu égard aux résultats spectaculaires de production enregistrés au niveau de l'Office du Niger et des petits périmètres irrigués villageois (PPIV), l'option de la promotion du riz est implicitement faite pour la maîtrise totale de l'eau pour des raisons de performance [2].

Le réseau hydraulique: la pente du delta vers le Nord et le réseau d'anciens effluents existants, ont favorisé la création de l'Office du Niger dans le cadre de l'irrigation des vastes étendues des terres alluviales.

A cet effet un barrage a été construit sur le fleuve Niger à Markala. Ce barrage permet de rehausser le niveau de l'eau jusqu'à une cote de 300,5 m et l'aménagement d'un canal adducteur creusé (8 km) puis subdivisé en 2 branches dont l'une le canal Sahel (25 km) rejoint l'ancien défluent de Molodo qui a été endigué jusqu'à Kouroumani.

Le réseau d'irrigation : le réseau d'irrigation comporte à partir du canal adducteur creusé dans le fala (ancien défluent), différents canaux de distribution:

- les distributeurs placés sur les levées, d'une longueur de 10 - 20 km;
- les partiteurs perpendiculaires aux distributeurs, d'une longueur de 1 à 1,5 km;
- les arroseurs perpendiculaires aux partiteurs suivant les courbes de niveau sur environ 1 km.

Les réseaux de canaux d'irrigation surdimensionnés véhiculent des débits d'irrigation et des débits sociaux permanents occasionnant des gaspillages énormes d'eau. Le manque d'entretien homogène des réseaux tertiaires joue sur la qualité du service de l'eau [3].

Le réseau de drainage: il a été conçu pour l'évacuation des eaux excédentaires et ne permet pas un drainage profond.

L'absence d'un drainage efficace, l'état de plus en plus défectueux des réseaux d'évacuation des eaux ont contribué à l'alimentation de la nappe phréatique qui se trouve à fleur du sol. Actuellement cette nappe suaffleurante ne descend pas au dessous de 1,5 m dans certains points hauts en saison sèche.

Le surdimensionnement des réseaux de canaux d'irrigation entraîne un gaspillage de l'eau. Cette mauvaise gestion de l'eau et le mauvais drainage entraînent non seulement la dégradation des sols de culture (alcalisation, remontée des sels à la surface), mais ils favorisent aussi l'émission de GES comme le méthane lors de la culture du riz car les parcelles ne sont plus aérées convenablement.

2.2.2. Les techniques culturales:

D'une manière générale les travaux de préparation du sol commencent par une préirrigation suivie d'un premier labour et d'un compartimentage, suivent successivement un deuxième labour, un apport d'engrais (phosphate d'ammoniaque), le semis à la volée ou le repiquage, le sarclage, un premier désherbage, un apport d'urée, un deuxième désherbage et enfin, une deuxième fraction d'urée.

En 1995 le matériel de labour utilisé était en grande partie la charrue, les tracteurs étaient utilisés pour une faible proportion des superficies cultivées (10 pour la campagne 1995-1996). Les différentes variétés de riz utilisées étaient les suivantes: D-52, G.K.A, BH2, BG90-2 pour 70 % en 1995-1996, Bouaké, H15-23, K-91, Sébéra II et autres (3,10 % en 1995-96).

Dans beaucoup de zones de l'Office du Niger le semis à la volée a tendance à laisser la place au repiquage avec des variétés à haut potentiel de rendement même sur des parcelles non encore réaménagées.

Cependant en 1995 cette pratique était encore en cours dans les zones non touchées par le réaménagement où la maîtrise de l'eau est extrêmement difficile. Il demande l'utilisation des variétés photosensibles à cycle long avec une fertilisation minérale et un niveau de rendement de 4t/ha.

Le niveau moyen d'équipement des exploitations en 1995 était le suivant:

Tableau 2.1 : équipements des exploitants au 30 juin 1995

Boeufs	Charrues	Herses	Charrettes	Anes	Tracteurs	Motoculteurs	Houes Puddler	Barres Niveleuses
33 600	15 771	10 715	9 685	11 433	10	52	48	52

En moyenne ce niveau d'équipement des exploitations a été jugé satisfaisant dans l'ensemble.

Quant à la technique du repiquage, elle était en pleine expansion (77% des surfaces cultivées en 1995 contre 66% en 1994) avec l'utilisation de variétés à haut rendement telle que la BG90-2 (70,23% des surfaces cultivées en 1995).

Dans le cadre de la promotion du riz à l'Office du Niger l'analyse diagnostic de la situation actuelle fait état d'un certain nombre d'insuffisances sur le plan technologique, à savoir:

- l'insuffisance de technologies agricoles adaptées à l'intensification;
- la faible implication de la recherche dans l'introduction de technologies plus performantes;
- le non respect du calendrier agricole qui fait que certains exploitants enregistrent des défaillances au niveau des tours d'eau et du drainage.

La technique du repiquage outre le fait qu'elle améliore le rendement permet aussi de lutter contre l'alanisation des sols. Quant à l'utilisation des variétés à cycle court, elle permet de diminuer le temps d'immersion des parcelles réduisant du coup les risques de création de conditions anaérobies favorables au dégagement de CH_4 .

Diverses variétés de semence riz à haut rendement (Kogoni 91-1, Bouaké 189, Sébrang MR 77) ont été vulgarisées: les besoins ont été couverts à 84% en 1995.

2.2.3. Fertilisation des sols:

Les types d'engrais les plus utilisés à l'Office du Niger en 1995 étaient les engrais chimiques (l'urée et le phosphate d'ammoniac). Pour la campagne 1995-1996 les quantités étaient respectivement de 7 071,3 t pour l'urée et de 3 930,65 t pour le DPA.

La salinisation de plus en plus croissante des sols et l'augmentation du prix des engrais chimiques sont aujourd'hui des facteurs incitatifs pour l'utilisation de la fumure organique par les paysans. Cette opportunité a été exploitée par l'encadrement qui a mis en route depuis 1994-95 un vaste programme de sensibilisation, de formation, de démonstration et de suivi pour une utilisation efficiente de la fumure organique.

L'importance de la fumure organique est maintenant perçue à une grande échelle dans les zones. Elle a été utilisée en 1995 sur 5 227 ha à des doses variables (selon les exploitants) de 5 à 10 tonnes par hectare. La quantité totale de fumure organique utilisée en 1995 était de 53 592 tonnes, cela a entraîné une réduction remarquable des quantités d'engrais minéraux utilisés dans les mêmes parcelles (50% en moyenne).

Malgré les prix élevés des engrais chimiques, la proportion des champs fertilisés en 1995 a augmenté par rapport à la dernière campagne (1994-1995). Outre les quantités importantes de

fumier apporté dans les champs, le taux de fertilisation minéral en 1995 s'est situé en moyenne à 80% contre 73% pour la dernière campagne, soit une augmentation de 7%.

Dans la perspective d'une intensification de la production du riz avec amélioration des rendements, l'utilisation à forte dose des engrais chimiques occasionnera non seulement la dégradation des sols agricoles, mais aussi favorisera les émissions de GES comme les oxydes d'azote et le N_2O . Par contre l'utilisation de la fumure organique dont le taux en azote est nettement inférieur à celui des engrais chimiques favorise la réduction des émissions de N_2O et des autres oxydes d'azote.

2.3. Collecte des données existantes:

Les données générales sur la culture du riz à l'Office du Niger de 1985 à 1996 sont regroupées dans le tableau 2.2. Un certain nombre de traitements statistiques a été fait sur ces données pour voir s'il existe des corrélations entre ces différentes séries de données. Dans un premier temps les coefficients de corrélation entre les superficies aménagées et la production, les superficies aménagées et le rendement, la production et le rendement, enfin le rendement et les quantités d'engrais utilisées ont été calculés. Les résultats de ces calculs sont consignés dans le tableau 2.3. De l'analyse de ces résultats, il ressort qu'il existe:

- une très bonne corrélation entre la production et les rendements (coefficient de corrélation de 0,99809);
- une bonne corrélation entre les quantités d'engrais et les rendements (coefficient de corrélation de 0,961887;
- une mauvaise corrélation entre la superficie cultivée et la production (coefficient de corrélation de 0,873662;
- une mauvaise corrélation entre la superficie cultivée et le rendement (coefficient de corrélation de 0,847544.

Pour les deux couples de données où il existe de bonnes corrélations, les équations des droites de régression qui s'ajustent au plus près à ces données ont été calculées en utilisant la méthode des moindres carrés. Ainsi en utilisant l'équation de la première droite, connaissant la production pour une année donnée on peut estimer avec une bonne précision le rendement, et vice versa. De même il est possible d'estimer avec une bonne précision la quantité d'engrais utilisée à partir du rendement en utilisant l'équation de la deuxième droite de régression, et vice versa.

Tableau 2.2: données générales sur la culture du riz à l'Office du Niger

Année	Superficies en casier (ha)	Superficies repiquées (ha)	Production (t)	Rendement (kg/ha)	Engrais (t)	Fumure Organique (t)
1985	39 433	529	82 957	2 104	4 234	
1986	39 910	869	88 011	2 205	3 088	
1987	42 125	1.857	98 194	2 331	3 729	
1988	43 352	2.721	97 796	2 256	4 371	40 467
1989	44 251	4.166	106 593	2 409	5 720	
1990	43 872	6.766	143 938	3 281	7 069	
1991	44 435	21.462	180 909	4 071	7 368	27 802
1992	44 843	22.797	208 541	4 650	8 744	
1993	45 442	25.893	222 634	4 899	8 932	30 609
1994	44 964	29.487	209 978	4 600	9 472	40 322
1995	46 410	35.869	232 206	5 000	10 012	54 000

Tableau 2.3 : coefficients de corrélation entre les données sur la culture du riz

Données	Coefficient de corrélation
Superficies et production	0,873662572
Superficies et rendement	0,847544156
Production et rendement	0,998098572
Quantité d'engrais et rendement	0,961887

De la création de l'Office du Niger jusqu'en 1995 ; 60 000 ha ont été aménagés, soit un taux moyen d'aménagement de 1250 ha/an. L'état des superficies aménagées en 1995 est présenté dans le tableau 2.4.

Tableau 2.4: situation des superficies aménagées par zone de 1947 à 1995.

Zones	Total casier
Macina	11 718
Niono	9 102
Molodo	6 700
N'Débougou	9 100
Kouroumari	10 395
Total Office du Niger	47 015 ha

Source: bilan de campagne 1995-1996 Office du Niger

2.4. Caractéristiques actuelles de la filière riz:

La problématique actuelle de la filière rizicole se caractérise par un certain nombre de facteurs limitants essentiels qui sont:

2.4.1. Insuffisance de soutien à la phase de production :

Dans le cadre de la promotion du riz à l'ON l'analyse diagnostic de la situation actuelle fait état d'un certain nombre d'insuffisances à savoir:

- faible organisation des producteurs dans l'acquisition des intrants à des prix compétitifs;

- insuffisance de technologies agricoles adaptées à l'intensification de la riziculture;
- dégâts d'oiseaux granivores ("quéléa-quéléa");
- faible implication de la recherche dans l'introduction de technologies plus performantes;
- respect peu rigoureux des calendriers agricoles;
- non respect des engagements des producteurs du système de crédit agricole entraînant une crise de confiance par rapport aux organismes de crédits agricoles;
- dysfonctionnement des organisations paysannes lié à la mauvaise gestion et à l'insuffisance des formations des leaders.

2.4.2. Commercialisation aléatoire :

La commercialisation des productions rizicoles constitue un enjeu important de la filière.

Ce faisant, force est de faire un certain nombre de constats paralysant ce processus dynamique comme:

- la non maîtrise des coûts de production;
- l'absence de programmation des actions de développement au sein de l'exploitation agricole et de la communauté villageoise entraînant une mauvaise maîtrise des prix de vente du riz.

2.4.3. Soutien financier timide à la réhabilitation et à l'extension:

Le programme de réhabilitation de l'Office du Niger qui a démarré depuis en 1982 n'a permis qu'une réhabilitation d'environ 25 000 ha sur les 60 000 ha actuellement exploités en 1997.

Cette lenteur dans la réhabilitation est due essentiellement à la timidité dans l'obtention des financements auprès des partenaires au développement.

La nécessité de valider le programme pluriannuel de l'Office Niger, qui prévoit la réhabilitation totale et une extension d'environ 100 000 ha d'ici l'an 2007 doit être un objectif prioritaire des autorités.

2.4.4. Conflits entre agriculteurs éleveurs:

Dans le contexte de l'Office du Niger les relations entre l'agriculture et l'élevage sont complémentaires avant d'être conflictuelles.

La divagation des animaux constitue le principal désaccord entre éleveurs et exploitants. En effet le retour très précoce et le départ trop tardif du bétail dans les casiers causent des dégâts sur les cultures et les réseaux d'irrigation et de drainage (digues et diguettes).

Le non respect du calendrier agricole fait que certains exploitants enregistrent des défaillances au niveau des tours d'eau et du drainage.

Le manque d'entretien homogène des réseaux tertiaires joue sur la qualité du service de l'eau.

2.4.5. Les faiblesses:

Les points suivants constituent des entraves à l'intensification de la riziculture:

- les réseaux de canaux d'irrigation surdimensionnés véhiculant des débits d'irrigation et sociaux permanents, ce qui entraîne un gaspillage énorme de l'eau;
- les réseaux de drainage aboutissant à des collecteurs non achevés, ce qui contribue à la dégradation des sols;
- la diversification est mal maîtrisée;
- le circuit de commercialisation des produits agricoles moins structuré;

- l'absence de promoteurs privés;
- l'insuffisance de la gestion de l'environnement.

2.5. Les perspectives de la filière rizicole:

De l'analyse diagnostic mettant en relief un accent sur les faiblesses affectant l'équilibre de la filière rizicole, il est tout à fait indiqué d'asseoir une politique définissant les moyens à mettre en œuvre pour l'atteinte des objectifs.

Ce faisant la stratégie à mettre en œuvre s'appuiera sur les acquis déjà enregistrés à l'ON.

2.5.1. Tendances actuelles :

Les récents développements de la zone Office du Niger font que celui-ci est fortement convoité à cause de la rentabilité des investissements et des différentes activités agricoles possibles (riziculture, maraîchage, élevage, etc.).

L'Office du Niger fait l'objet de nombreuses sollicitations d'installation. Les demandes de surfaces irriguées très nombreuses et diverses dépassent de beaucoup les disponibilités en terres aménagées. Elles émanent :

- d'anciens exploitants agricoles;
- de villages riverains aux adducteurs de l'Office du Niger;
- de populations nomades;
- de travailleurs compressés des Sociétés et Entreprises d'Etat ;
- de jeunes diplômés;
- de refoulés maliens d'autres pays;
- de corporations et Groupements d'Interêt Economique (GIE);
- d'agro-industriels.

Il est envisagé un programme décennal d'accroissement de la production à partir de l'intensification, l'amélioration des branchements divers et des aménagements nouveaux.

La politique d'extension (aménagements nouveaux) nécessite des investissements importants en capitaux.

Elle envisage à côté des efforts de l'état à poursuivre et à diversifier l'implication des populations rurales et des investisseurs privés.

L'intervention des investisseurs privés est réglementé par le décret n°96 188/P-RM du 01 juillet portant organisation de la gérance des terres affectées à l'Office du Niger. Ce décret offre:

- le bail ordinaire;
- le bail emphytéotique.

Ainsi à partir de 1997 le programme d'accroissement de la production rizicole ambitionne de couvrir les besoins en riz du pays à partir de l'Office du Niger qui en 1996, pour un tiers des surfaces en riz a contribué pour 50% de la production du Mali.

L'objectif porte sur 100 000 ha nouveaux dont une première tranche de 60 000 ha à court terme (5-10 ans).

Cette option, si elle était partagée par l'ensemble des partenaires Etat-Office du Niger-Populations-Investisseurs Privés, permettraient de définir un rythme d'aménagement régulier et soutenu du programme pluriannuel en perspective à l'Office du Niger.

Plusieurs sources d'informations montrent que la consommation du riz augmente tant au Mali que dans la sous-région (déficit estimé à un million de tonnes).

Devant cette situation, et compte tenu des moyens limités de l'état, plusieurs scénarios peuvent être envisagés pour la sécurité et l'autosuffisance alimentaire en riz.

Scénario 1: aménagement avec la participation des collectivités villageoises.

Avec la disponibilité des ressources en eau, la précarité de la pluviométrie des dernières années est à l'origine d'une importante migration de populations à forte densité vers la zone Office du Niger.

Ceci se traduit par une forte pression foncière dans les casiers irrigués et des demandes de branchements divers sur le réseau hydraulique.

L'Office du Niger pourra développer un véritable partenariat: Etat-Collectivités Villageoises-Bailleurs de Fonds pour l'extension des terres aménagées.

L'amélioration des superficies hors-casiers pourra être traitée également dans ce scénario.

Scénario 2: aménagement par les investisseurs privés.

Dans l'objectif d'augmenter les superficies aménagées l'installation d'investisseurs privés est à encourager à travers des baux tels que stipulés dans le décret de gérance des terres.

2.5.2. Les étapes d'intervention :

L'amélioration de la productivité et de la filière du riz au Mali en général et particulièrement à l'Office du Niger doit s'inscrire dans une démarche de planification pour permettre les concertations avec les partenaires et parvenir à des accords.

Cette démarche obéit à une chronologie entre les étapes:

1. développer l'approche participative dans un équilibre bien dosé avec les différents intervenants: Etat-Populations à l'image de l'exemple de Bewani;
2. impliquer plus sainement les banques dans le financement de la production ainsi que les promoteurs privés "Intermédiation dans la réalisation des projets";
3. garantir un service fiable de l'eau en tenant compte de l'efficacité économique et de l'équité entre les différents secteurs et éliminer les débits sociaux qui seront satisfaits à partir de la mise en œuvre d'un programme d'eau potable dans les villages;
4. solliciter et inciter les agro-business favorisant ainsi l'extension des aménagements;
5. réaliser le programme pluriannuel dans un élan permanent et soutenu avec l'exigence de haut rendement dans des conditions d'irrigation et de drainage efficaces;
6. renforcer les capacités d'action de l'Office du Niger par la formation continue des cadres et la mise à leur disposition d'équipements performants (communication informatisée, gestion de l'expertise technique);
7. mettre un accent particulier sur la réalisation d'actions d'accompagnement: infrastructures socio-économiques, formation des populations, équipements et technologies divers de production.

2.6. Plan d'extension des périmètres en ha:

Les extensions de périmètres prévues à court terme (10 ans) par le programme pluriannuel de l'Office sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2.5 : plan d'extension des périmètres à l'Office du Niger (en ha)

Désignation	Population	Privés	Etat	Total
Bewani		8 000	7 000	15 000
Ke Macina		1 000	3 000	4 000
Niaro Extension		2 500		2 500
Siengo Extension		5 500	500	6 000
Alatona		4 000	2 000	4 000
Molodo Nord		4 000	3 500	6 500
Diadian				3 500
Singo		5 500		5 500
HC Macina	1 500			1 500
HC Niono	5 000			5 500
Branche Retail		2 000	1 500	3 500
Sosse Sibila			3 000	3 000
Total	6 500	33 000	20 500	60 000
Pourcentage	10,8%	55%	34,2%	100%

2.7. Les émissions de GES à l'Office du Niger en 1995:

Les émissions de GES lors de la production de riz à l'Office du Niger en 1995 (année de base) sont présentées dans le tableau 7.

Tableau 2.6: Emissions de GES dans le secteur de l'Agriculture

Module Agriculture	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x
	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg
Agriculture					
Riziculture	-	9,403	-	-	-
Elevage	-	6,327	-	-	-
Gestion du fumier (utilisation d'engrais chimiques et du fumier)	-		0,051	-	-
Total	-	15,73	0,051	-	-
Potentiel de réchauffement (PRG)		21	310		
TE-CO₂		330,33	15,81		

Source: document d'inventaire.

Dans l'analyse des émissions de GES en 1995 dans le secteur de l'agriculture dans la zone Office du Niger, les observations suivantes sont pertinentes:

1. La riziculture irriguée est en grande partie responsable des émissions de méthane dans la zone Office du Niger, suivi de l'élevage domestique à une petite échelle;

2. Les émissions de NO_2 sont surtout liées à l'utilisation des engrais chimiques et du fumier, et les quantités dégagées sont relativement faibles;
3. Les dégagements de CO_2 sont relativement faibles, donc négligeables.

III. SCENARIO DE BASE

3.1. Les données de base sur la culture du riz à l'Office du Niger de 1995 à 2025:

3.1.1. Evolution des superficies aménagées de 1995 à 2025:

Le programme de réhabilitation de l'Office du Niger qui a démarré depuis en 1982 n'a permis qu'une réhabilitation d'environ 25 000 ha sur les 60 000 ha actuellement exploitées.

Le plan d'extension de l'Office du Niger d'environ 60 000 ha [], qui évolue concomitamment avec celui de la réhabilitation, permettra de passer de 50% du taux de couverture des besoins en riz dès 1998 à 98% en l'an 2007 avec un rendement moyen de 7 t/ha [3].

Il est utile de préciser que dans cette perspective le paddy produit à l'Office du Niger sera le plus compétitif économiquement dans la mesure où la mobilisation de la ressource en eau ne demande plus d'investissement et que les 960 000 ha sont tous dominés par le plan d'eau déjà réalisé. Par ailleurs l'on se trouve dans les conditions idéales requises pour l'intensification et le haut rendement.

Les superficies aménagées à l'Office du Niger en 1995 sont de l'ordre de 47 015 ha. Le plan de restructuration de l'Office du Niger [3] a prévu dans ses grandes lignes un certain nombre d'objectifs dont la mise en valeur de 60 000 nouveaux ha d'ici l'an 2007.

D'après ce plan il est prévu une augmentation de 60 000 ha en 10 ans (de 1997 à 2007), ce qui fait une moyenne de 6 000 ha par an. Pour atteindre cet objectif un certain nombre de mesures ont été envisagées notamment l'implication du secteur privé dans la mise en valeur des terres de l'Office du Niger.

Connaissant la superficie aménagée en 1995, il est possible de calculer les superficies cultivées pour les autres années de la plage concernée par l'étude à savoir 1995-2025, en ajoutant chaque année 6 000 ha. Le pas choisi est de 5 ans, l'évolution des superficies aménagées est présentée sur la figure 3.1., de 46 410 ha en 1995, les superficies aménagées atteindront une valeur de 227 015 ha en l'an 2025, soit une augmentation de 382,85 % en 30 ans.

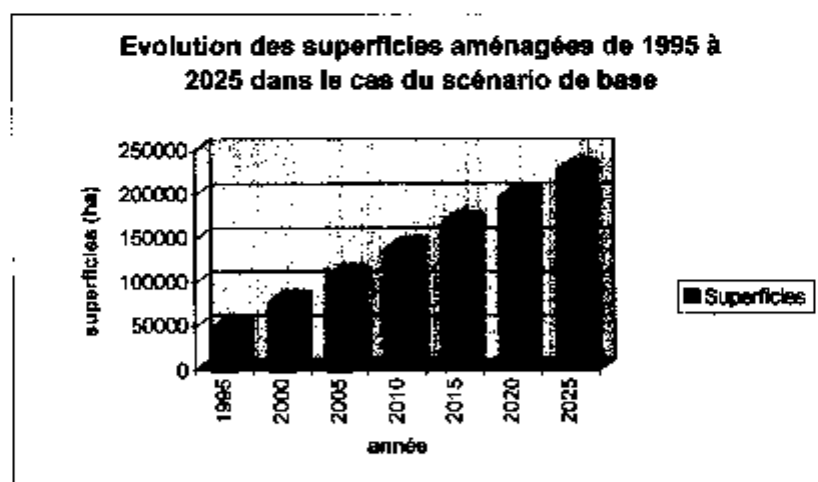


Figure 3.1.: Evolution des superficies aménagées à l'Office du Niger de 1995 à 2025

3.1.2. Evolution des rendements de 1995 à 2025:

En 1995 le rendement moyen atteint à l'Office du Niger est de 5t/ha, le même plan de développement de l'Office du Niger [3] a prévu aussi d'atteindre un rendement de 7t/ha d'ici l'an 2007. Pour atteindre un tel rendement il est prévu d'améliorer les techniques culturales à l'Office du Niger notamment la gestion de l'eau, l'utilisation des engrais, etc. En faisant le même raisonnement qu'au point précédent, l'augmentation du rendement dans l'intervalle 1995-2007 est de 2000 kg/ha, ce qui fait un taux d'accroissement moyen de 167 kg/ha et par an. L'évolution des rendements des superficies aménagées à l'Office du Niger est présentée à la figure 3.2. De 5000 kg/ha en 1995, les rendements atteindront une valeur de 9 978 kg/ha en l'an 2025, soit une augmentation de 99,56 % en 30 ans.

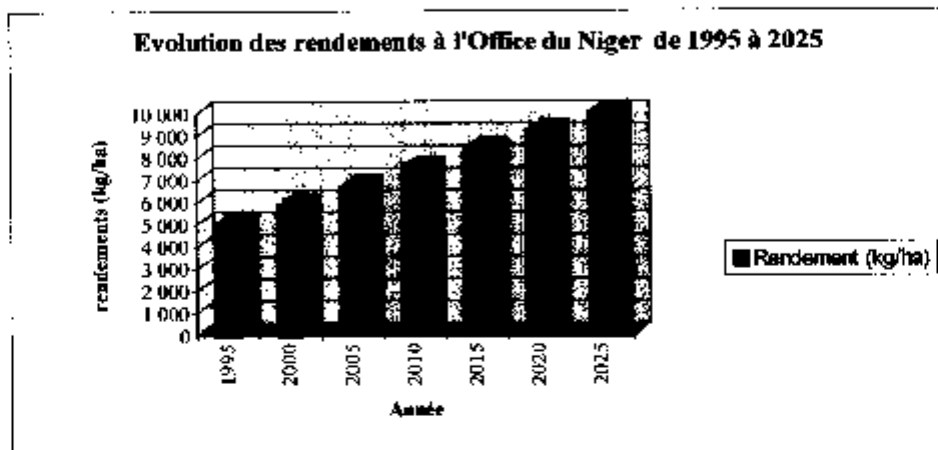


Figure 3.2.: évolution des rendements à l'Office du Niger de 1995 à 2025.

3.1.3. Evolution des quantités d'engrais utilisées à l'Office du Niger de 1995 à 2025:

Comme il a été souligné au paragraphe 1.4.1., il existe une bonne corrélation (0,961887) entre les quantités d'engrais utilisées et les rendements pour les séries de données utilisées dans l'intervalle 1985-1996. L'équation de la droite de régression qui s'ajuste au plus près aux données sur le rendement et la quantité d'engrais utilisée est:

$$\text{Rendement} = \text{Pente} \times \text{Qté}$$

Qté = Quantité d'engrais utilisée;

Pente = pente de la droite de régression entre le rendement et la quantité d'engrais utilisée (Pente = 0,5258).

En utilisant les données sur le rendement, les quantités d'engrais utilisées ont été calculées pour la plage 1995-2025, l'évolution de 1995 à 2025 est présentée sur la figure 3.4.

De 10 012 t en 1995, la quantité d'engrais utilisée atteindra 23 500 tonnes en 2025, soit une augmentation de 161,68 % en 30 ans.

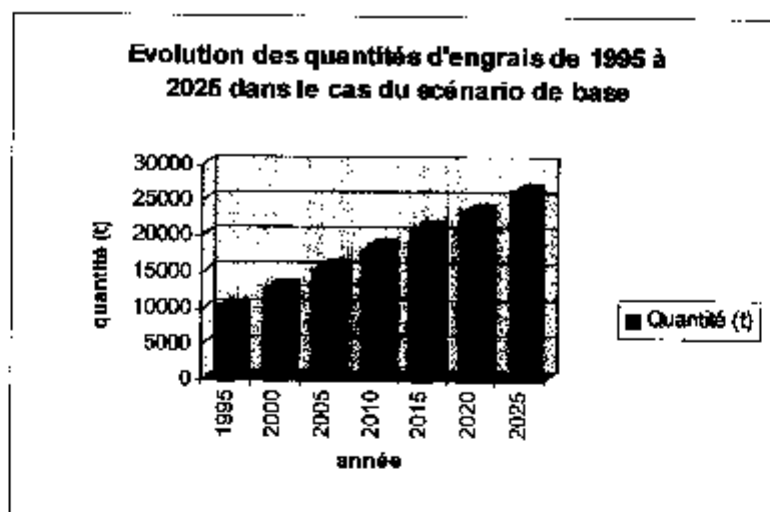


Figure 3.4: évolution des quantités d'engrais utilisées de 1995 à 2025.

En 1995 la quantité de fumure utilisée à l'Office du Niger était de 54 000 t à une dose de 10t/ha, ce qui correspondait à une superficie de 5400 ha, soit 11,48% des superficies aménagées. En faisant l'hypothèse que dans le cas du scénario de base la même dose de 10 t/ha est maintenue, l'évolution de la quantité de fumure de 1995 à 2025 est présentée sur la figure 3.5.

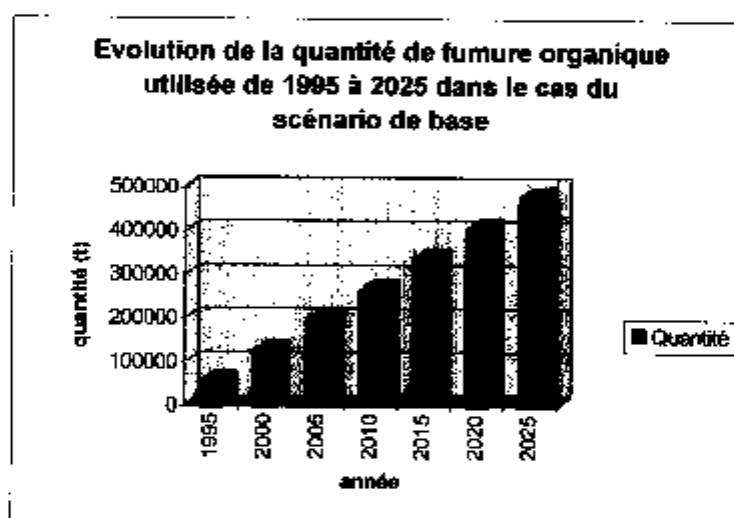


Figure 3.5: Evolution des quantités de fumure organique utilisées de 1995 à 2025.

3.1.4. Evolution de la production de 1995 à 2025:

Il est envisagé un programme décennal d'accroissement de la production à partir de l'intensification, l'amélioration des branchements divers et des aménagements nouveaux. La politique d'extension (aménagements nouveaux) nécessite des investissements importants en capitaux.

Connaissant le rendement et la superficie, la production peut être estimée à l'aide de la formule suivante:

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Production(t)}}{\text{Superficie(ha)}} \Rightarrow \text{Production} = \text{Rendement} \times \text{Superficie}$$

Cette relation a été utilisée pour calculer les productions de riz à l'Office du Niger de 1995 à 2025. L'évolution des productions de 1995 à 2025 est présentée sur la figure 6, de 232 206 t en 1995, la production atteindra une valeur de 2 224 649 t en l'an 2025, soit une augmentation de 858 % en 30 ans.

La diversification des systèmes de culture et des spéculations est surtout remarquable à travers le maraîchage pour lequel les exploitants manifestent un intérêt toujours croissant. Les surfaces cultivées ont fortement augmenté depuis quelques années déjà: 1 880 ha cultivé en 1995 contre 1378 en 1994.

Cette importance accordée au maraîchage est due à la politique adoptée par l'Office du Niger en la matière, au volume des demandes des produits sur les marchés, mais surtout au niveau des revenus que l'activité génère actuellement.

La pisciculture et le reboisement sont de plus en plus pratiqués dans les périmètres réhabilités, en 1995 les quantités sont:

- nombre d'étangs: 169 couvrant une superficie de 23,20 ha;
- nombre de pieds: 56 953 correspondant à 106,3 ha de superficies reboisées.

Quant à l'exploitation des arbres fruitiers:

- le nombre total de plants en 1995 est de 563;
- la surface utilisée à cet effet est de 122 920 ha.

Pour une production pérenne de ces spéculations, il faut envisager un zonage avec l'installation de fermes appropriées.

3.1.5. Evolution de l'effectif du cheptel de 1995 à 2025:

Dans la zone Office du Niger c'est le type d'élevage extensif (c'est à dire le système agro-pastoral) qui existe. Il est surtout pratiqué par les agriculteurs sur toute l'étendue de la zone Office du Niger.

Le système agro-pastoral que l'on rencontre dans la zone, est associé à la riziculture irriguée. La traction animale et l'utilisation du fumier viennent en premier plan des objectifs d'exploitation du bétail. Les bovins constituent le type de bétail le plus important, on y élève aussi des ovins, des caprins, des asins et des camelins.

La zone Office du Niger de par sa diversité bioécologique et climatique offre d'énormes potentialités pour l'élevage :

- existence de parcours de haute valeur nutritive en toute saison (partie septentrionale de la région de Ségou: hautes terres du Sahel);
- disponibilité élevée de sous-produits agricoles (paille de céréales et de légumineuses);
- existence de points d'eau permanents (canaux d'irrigation);
- existence de services d'encadrement.

L'effectif du cheptel dans la zone Office du Niger en 1995 était de 171 000 bovins. Le taux de croissance adopté par la Direction Nationale de l'élevage (DNA) soit 1% pour notre zone a été utilisé pour faire les projections de 1995 à 2025. L'évolution de l'effectif du cheptel de 1995 à 2025 est présenté sur la figure 3.6.

Dans le contexte de l'Office du Niger les relations entre agriculteurs et éleveurs sont complémentaires avant d'être conflictuelles. La divagation des animaux constitue le principal désaccord entre éleveurs et exploitants. En effet le retour très précoce et le départ trop tardif du bétail dans les casiers causent des dégâts sur la culture et les réseaux d'irrigation et de drainage (digues et diguettes).

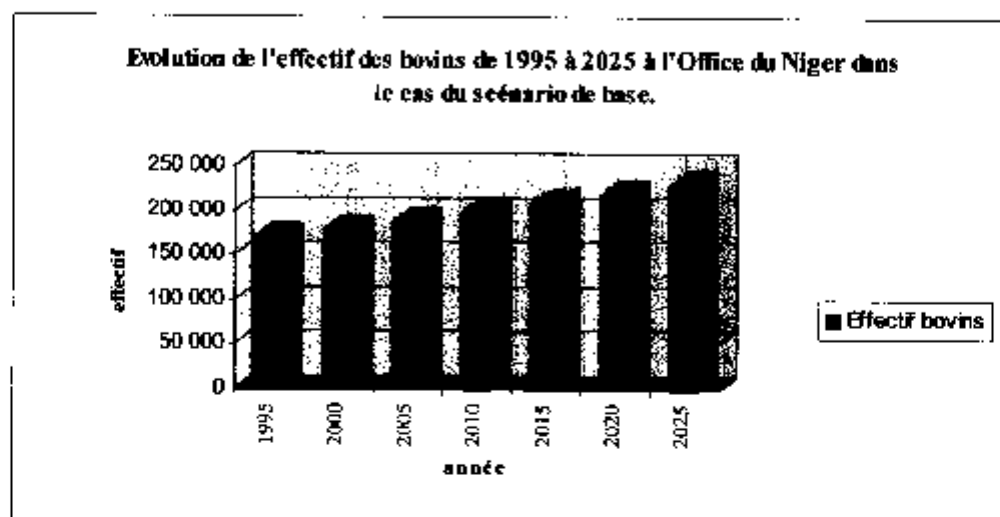


Figure 3.6: évolution de l'effectif des bovins de 1995 à 2025.

3.2.Calcul des émissions dans le cas du scénario de base:

3.2.1. Calcul des émissions de CH₄:

3.2.1.1. Emissions de CH₄ dues au système d'irrigation:

Les insuffisances décelées dans le système d'irrigation de l'Office du Niger notamment le mauvais drainage font que le régime de gestion de l'eau à l'Office du Niger peut être classé conformément à la classification IPCC dans la catégorie inondation intermittente, aération simple; ce qui correspond à un facteur d'échelle de 0,5.

En utilisant les superficies qui ont été déterminées au paragraphe 1.4.2, les émissions de CH₄ ont été calculées avec ce facteur d'échelle, l'évolution de 1995 à 2025 est présentée à la figure 3.7.

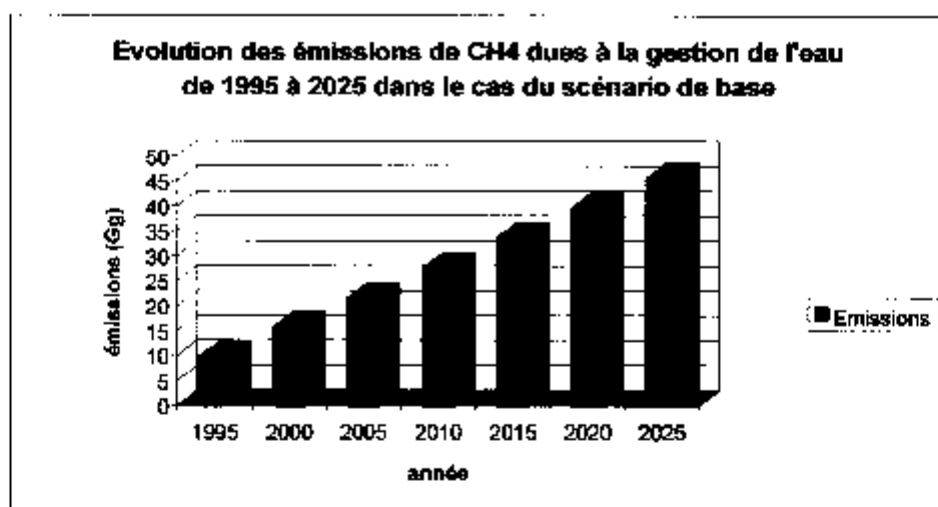


Figure 3.7: évolution des émissions de CH₄ dues au système d'irrigation de 1995 à 2025.

3.2.1.2. Emissions de CH₄ dues au système d'élevage:

Les dégagements de GES considérés ici concernent surtout les émissions directes produites par fermentation entérique chez les animaux et le fumier animal.

Le méthane produit par la fermentation entérique est un sous-produit du procédé de digestion chez les herbivores. Les ruminants (bovins, chevaux, moutons, chèvres) demeurent la principale source alors que les non ruminants (porcs, chevaux, ânes) ont un faible dégagement.

L'évolution des émissions de CH₄ dues au système d'élevage calculée à partir des données de base du paragraphe 1.4.5 est présentée à la figure 3.9.

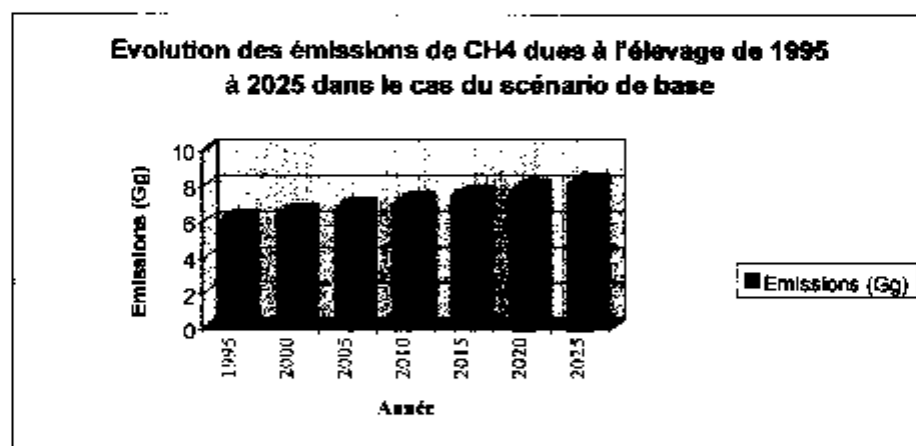


Figure 3.8: évolution des émissions de CH₄ dues au système d'élevage de 1995 à 2025.

3.2.2. Emissions de N_2O dues à la gestion du fumier (utilisation d'engrais chimiques et de la fumure) :

Le système de gestion du fumier au Mali est essentiellement lié au caractère de l'élevage extensif. L'évolution des émissions de GES dues à la gestion du fumier (utilisation d'engrais

chimiques et de la fumure organique) a été calculée en utilisant les données de base du paragraphe 1.4.4. L'évolution des émissions est présentée sur la figure 3.9

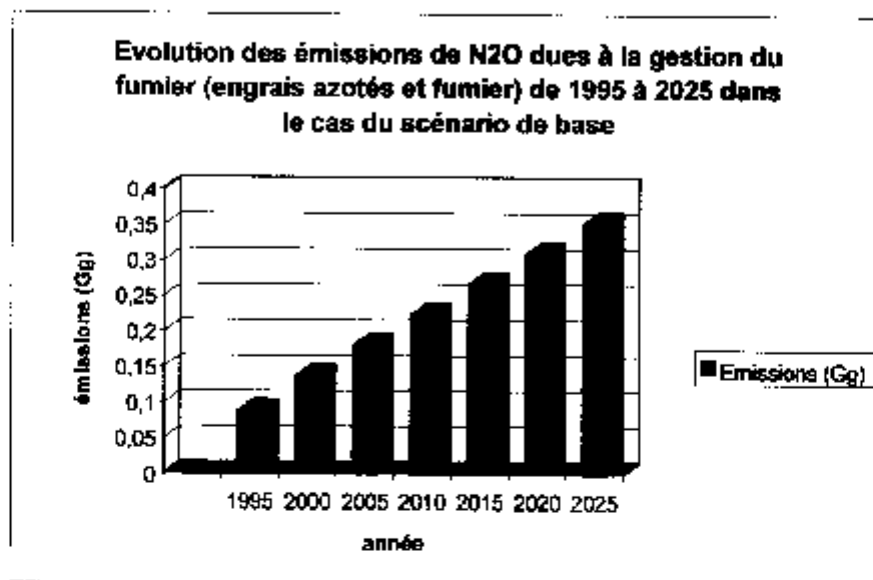


Figure 3.9: évolution des émissions de N_2O dues au système de gestion du fumier de 1995 à 2025.

3.2.3. Evolution des émissions de GES dans la zone Office du Niger de 1995 à 2025 dans le cas du scénario de base:

Les quantités de GES émises (CH_4 et N_2O) de 1995 à 2025 dans le cas du scénario de base sont présentées dans le tableau ci-dessous et leur évolution sur la figure 10. Ces quantités de gaz émis ont été converties en leurs équivalents CO_2 en les multipliant par leurs potentiels de réchauffement (PRG). Les gaz concernés sont:

- le CH_4 dont les émissions sont surtout dues à la gestion de l'eau et à l'élevage domestique;
- le N_2O qui provient de l'utilisation des engrais chimiques (l'Urée et le DPA) et de la fumure organique.

Tableau 3.1 : évolution des émissions de GES dans la zone Office du Niger de 1995 à 2025 dans le cas du scénario de base

Année	Emissions de CH ₄ Dues à la gestion de l'eau (TE-CO ₂)	Emissions de CH ₄ dues à l'élevage (TE-CO ₂)	Emissions de N ₂ O dues à la gestion du fumier (TE-CO ₂)	Total des émissions de GES (TE-CO ₂)
1995	197,463	132,867	17,237	347,567
2000	323,463	139,510	24,232	487,205
2005	449,463	142,699	31,244	623,406
2010	575,463	153,810	38,255	767,528
2015	701,463	161,500	45,267	908,230
2020	827,463	169,575	52,279	1 049,317
2025	953,463	173,241	59,291	1 185,995

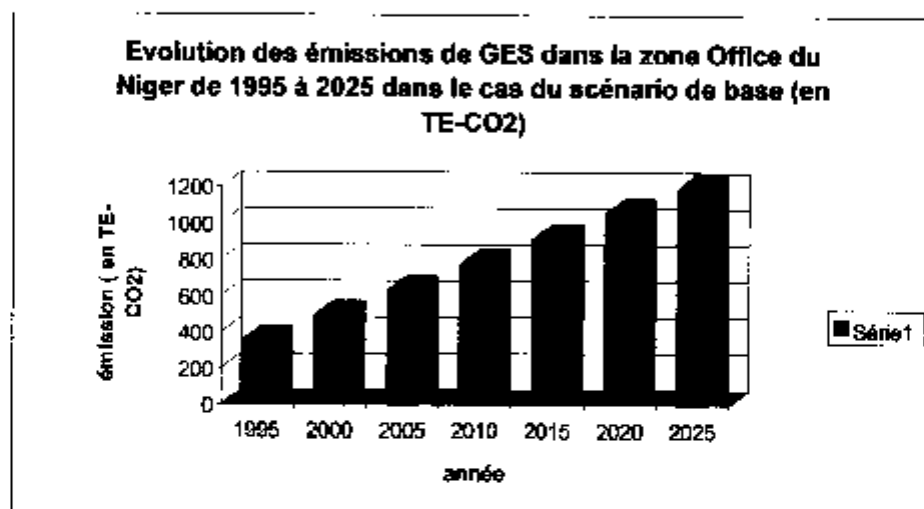


Figure 3.10: Evolution des émissions de GES dans la zone Office du Niger de 1995 à 2025 dans le cas du scénario de base.

IV. LES MESURES ET TECHNOLOGIES D'ATTENUATION:

Dans le contexte de l'agriculture dans la zone Office du Niger, les mesures suivantes peuvent être envisagées dans le cadre des études de stratégies d'atténuation des émissions de GES.

4.1. Amélioration de la gestion des troupeaux de ruminants

- Augmentation de la digestibilité des aliments,
- Amélioration des caractéristiques génétiques et de la fécondité des animaux.

4.2. Adoption de pratique de gestion des fumiers pour la récupération du CH₄

- Lagunage en milieu clos et emploi de digesteurs de biogaz

4.3. Amélioration des pratiques rizicoles

- Gestion des ressources en eau,
- Gestion des éléments nutritifs,
- Utilisation de nouveaux cultivars émettant peu de CH₄.

4.4. Utilisation plus efficace des engrais azotés

- Amélioration des méthodes d'épandage des engrais azotés,
- Harmonisation de l'offre d'azote et des besoins des cultures,
- Optimisation de l'utilisation des fumiers,
- Optimisation de la préparation du sol, de l'irrigation et du drainage.

Après analyse de ces différentes mesures, et en conformité avec les spécificités de la zone Office du Niger, les stratégies les mieux adaptées ont été retenues.

V. STRATEGIES D'ATTENUATION DES EMISSIONS DE GES A L'OFFICE DU NIGER

5.1. Introduction :

L'objectif principal de ces études de stratégie d'atténuation est de réduire le taux des émissions de GES d'ici à l'an 2025 dans le secteur de l'agriculture dans la zone Office du Niger par rapport à leurs valeurs de 1995 qui a été choisie comme année de référence. Les nouveaux profils de l'intensification de la production agricole à l'Office du Niger de 1995 à l'horizon 2025 ainsi que les émissions de GES correspondantes seront analysées.

L'analyse qui a été faite lors de la construction du scénario de base a permis d'identifier les principaux facteurs qui contribuent à l'émission de GES dans la production agricole dans la zone Office du Niger. De l'analyse de ces principaux facteurs, des stratégies d'atténuation des émissions de GES seront proposées ainsi que les coûts associés, les émissions correspondantes et leurs évolutions seront aussi calculées.

5.2. Les stratégies d'atténuation :

Les principaux facteurs contribuant à l'émission de GES dans la production de l'Office du Niger sont :

- le mode de gestion de l'eau ;
- la fertilisation des sols ;
- le système d'élevage.

Les options d'atténuation qui seront considérées ici, proviennent toutes soit des résultats de recherches qui ont été effectuées dans la zone Office du Niger par des instituts de recherche comme l'IPR (Institut Polytechnique Rural de Katibougou), l'IER (Institut d'Economie Rurale) surtout à travers le CRRA de Niono, soit des préoccupations des responsables de l'Office.

5.2.1. Option d'atténuation N°1 : Amélioration de la gestion de l'eau :

Les émissions de CH_4 à l'Office du Niger sont dues à la décomposition anaérobie des substances organiques suite à la riziculture. Une meilleure gestion de l'eau qui fournirait aux plantes de riz la quantité d'eau indispensable tout en réduisant au tant que possible l'immersion des terres contribuerait à défavoriser les conditions anaérobies et par conséquent les émissions de CH_4 .

Par ailleurs, l'irrigation des terres de l'Office du Niger à partir de l'eau du fleuve Niger a conduit au fil du temps à leur dégradation suite à la remontée de la nappe phréatique qui a favorisé les dépôts alcalins issus de l'utilisation des engrais chimique. Cette situation favorise également les émissions de N_2O .

Selon les résultats d'une enquête réalisée en Août 1990, 7 % des rizières sont dégradées ou en cours de l'être, tandis que la dégradation frappe jusqu'à 24 % des zones de maraîchage (JP. Barral et M.K Dicko 1996).

De l'analyse du mode de gestion actuel de l'eau à l'Office du Niger et de ses conséquences sur le niveau des émissions de GES, les mesures suivantes peuvent être prises pour envisager une amélioration significative :

1. l'amélioration du système de drainage pour éviter non seulement la dégradation des sols, mais aussi la stagnation de l'eau inutilement dans les parcelles. C'est la meilleure solution,

mais dans les conditions actuelles de l'Office du Niger, la réalisation d'un drainage profond coûterait trop cher ;

2. le redimensionnement des débits des canaux des réseaux d'irrigation afin qu'ils puissent véhiculer seulement des débits d'irrigation et la réalisation de forages dans les villages pour satisfaire les besoins sociaux (ceux des populations et des animaux) ;
3. l'organisation et la formation des producteurs autour de l'entretien du réseau tertiaire ;
4. le renforcement du contrôle de la gestion de l'eau par une plus grande responsabilisation des agents de l'Office du Niger chargés de cette tâche ;
5. la sensibilisation des paysans pour qu'ils utilisent juste la quantité d'eau nécessaire dont les cultures ont besoin en leur expliquant les dangers d'une utilisation abusive de l'eau (dégradation des sols, baisse de rendement, augmentation des quantités d'engrais et des émissions de GES, etc.) ;
6. la mise en place d'une redevance et de fonctionnement d'un fond d'entretien du réseau tertiaire (gestion paysanne).

Exceptée la première mesure qui est trop contraignante sur le plan financier, toutes les autres peuvent se résumer en des actions de sensibilisation et de formation des responsables et des exploitants de l'Office du Niger. De ce fait, elles sont envisageables dans le cadre d'un projet de réduction des émissions de GES à l'Office du Niger.

5.2.1.1. Justification de l'étude :

Actuellement, les réseaux de canaux d'irrigation sont surdimensionnés pour véhiculer des débits sociaux permanents. En effets, les eaux qui circulent dans les canaux d'irrigation permettent actuellement de satisfaire non seulement les besoins en eau des rizières mais aussi ceux des populations et des animaux : ce qui constitue une source considérable de gaspillage de l'eau.

D'autre part il est actuellement admis que la dégradation des sols est essentiellement due au niveau élevé de la nappe phréatique. Ce fait est favorisé par le mauvais drainage, voire l'absence de drainage pour maintenir la nappe à un niveau raisonnable.

Les options d'atténuation qui seront retenues ici, permettront au niveau du système d'irrigation de passer d'une inondation intermittente avec aération simple à une inondation intermittente avec aération multiples.

L'Office du Niger dans sa politique de promotion du riz ambitionne d'attirer les investisseurs privés pour une augmentation des superficies aménagées.

Ceci va entraîner du coup un besoin en eau d'irrigation plus élevé. Et si des dispositions ne sont pas prises pour sensibiliser et former les populations concernées, une utilisation abusive de l'eau aura des conséquences négatives sur l'environnement.

L'enjeu réside dans l'intensité culturale qui est de 110 % autrement dit l'occupation des sols de cultures est de 8 mois dans l'année (avril à novembre). C'est dire que si la gestion de l'eau n'est

pas bien suivie, il y aura une alcalisation poussée et l'apparition de conditions favorables aux émissions de CH_4 surtout.

C'est dans cette optique que cette étude d'amélioration de la gestion de l'eau traitera essentiellement de l'évolution des consommations d'eau sur la plage de l'étude (1995-2025) en relation avec les superficies cultivées et les coûts des aménagements.

Une attention particulière sera aussi accordée à la qualité des travaux d'entretien des réseaux d'irrigation qui constituent un paramètre intéressant d'une bonne gestion de l'eau.

Ainsi, les programmes de formation des usagers du réseau d'irrigation avec les coûts récurrents détermineront les courbes de tendance aussi bien dans le cas du scénario de base que dans celui de l'option d'atténuation des émissions de GES liées à une bonne gestion de l'eau.

5.2.1.2. Consommation d'eau :

Le calcul portera sur la consommation d'eau moyenne à l'hectare pour une variété de riz à cycle court (120 jours) qui est beaucoup cultivée à l'Office du Niger : la BG 90,2.

Dans la situation actuelle, la quantité d'eau dans la parcelle est de 2,3 litres/seconde/ha pour un besoin en eau réel de la plante de 1 litre/seconde/ha (besoin en eau de la plante 1980). Cependant, pendant les périodes d'irrigation, il part du barrage de Markala près de 3 litres/seconde/ha.

Ces quantités d'eau à l'hectare sont obtenues à partir d'études (Projet GEAU, Projet BAU 1983). La plante de riz n'a pas besoin d'une forte d'eau pour sa maturité physiologique (paille courte : 5 cm durant son cycle). Avec la possibilité qu'offre le barrage d'envoyer de l'eau en toute saison, cette norme est largement suffisante pour les plantes.

Par ailleurs, à l'Office du Niger, les infrastructures hydrauliques comportent des régulateurs pour la gestion de l'eau par rapport aux différences de niveau de parcelles. Ceci exige le respect d'un tour d'eau par les exploitants agricoles. Cela signifie que les exploitants agricoles qui sont sur le même réseau doivent se soumettre à une règle de gestion de l'eau pour assurer la mise en eau des parcelles quelque soit leur dénivelé.

Dans le cadre de l'amélioration de la gestion de l'eau dans le présent scénario d'atténuation, la quantité d'eau dans la parcelle peut être ramenée juste au strict minimum dont les plantes de riz ont besoin pour leurs croissances, c'est à dire 1,5 litres/seconde. Pour cela, des mesures d'accompagnement sous forme de formation sur la gestion de l'eau et la séparation des débits d'irrigation des débits sociaux doivent être organisées.

Dans ces conditions, la quantité d'eau nécessaire pour un cycle normal est de 23 846 m^3 /ha dans le cas du scénario de base, contre 15 552 m^3 /ha dans celui du scénario d'atténuation. Les quantités d'eau nécessaire à la croissance normale de la variété de riz BG 90,2 de 1995 à 2025 dans le cas du scénario de base et de celui d'atténuation sont présentées dans le tableau 6.2.

Tableau 5.1. : quantités d'eau nécessaires pour les plantes de riz de 1995 à 2025 dans les deux scénarios

Années	Surfaces (ha)	Scénario de base m ³	Option d'atténuation m ³
1995	47 015	1 121 119 690	731 177 280
2000	77 015	1 836 499 690	1 197 737 280
2005	107 015	2 551 879 690	1 664 297 280
2010	137 015	3 267 259 690	2 130 857 280
2015	167 015	3 982 630 690	2 597 417 208
2020	197 015	4 698 019 690	3 063 977 280
2025	227 015	5 413 399 690	3 530 537 280

En tenant compte du coefficient d'évapotranspiration des plantes et de l'infiltration de l'eau d'irrigation, la quantité d'eau qui restera dans les drains collecteurs est très variable selon la nature des sols. Cette quantité d'eau est très importante dans les sols mousiss où le pourcentage d'argile est très élevé]. Dans le cas de la riziculture avec maîtrise totale de l'eau, c'est l'importance de la quantité d'eau qui reste dans les drains, qui jouera sur la qualité du drainage. Un mauvais drainage favorise les émissions de CH₄, car dans ces conditions l'aération des parcelles est mal assurée. De ce fait, il est intéressant d'estimer la quantité d'eau qui reste dans les drains dans les deux scénarios.

Pour l'estimation de la quantité d'eau de drainage, l'hypothèse de calcul porte sur les sols mousiss à faible pourcentage d'infiltration qui sont dominants dans les casiers rizicoles actuellement exploités à l'Office du Niger.

On part du principe que la plante utilise seulement 1 litre/s sur les 2,5 litres/s reçus dans la parcelle. En 120 jours d'irrigation :

soit 10 368 m³ d'eau réellement consommée par ha (par la plante) ;
contre 23 846 m³ d'eau reçu par la parcelle.

Avec une perte dans le sol de 3 %, la quantité d'eau dans le drain avec la méthode de gestion actuelle (cas du scénario de base) en 1995 était de 12 700 m³/ha, alors que dans le cas de l'option d'atténuation, elle était de 5 000 m³/ha.

A ce volume d'eau viennent s'ajouter les quantités utilisées pour les cultures de contre saison : riz et maraîchage.

Par ailleurs, à cause du fait que le drain collecteur principal n'est pas entièrement réalisé, il n'y a pas de recyclage des eaux des drains, ce qui joue ainsi sur le niveau de la nappe phréatique.

Tableau 5.2. : quantité d'eau drainée dans les cas des deux scénarios

Années	Scénario de base	Option d'atténuation
	Quantité d'eau (m ³)	Quantité d'eau (m ³)
1995	597 090	235 075
2000	978 090	385 075
2005	1 359 090	535 075
2010	1 740 090	685 075
2015	2 121 090	835 075
2020	2 502 090	975 075
2025	2 883 090	1 135 075

Comme cela apparaît dans le tableau 5.2., si les débits d'irrigation seulement sont envoyés dans les canaux, une énorme quantité d'eau sera économisée, ce qui permettra d'améliorer considérablement la qualité du drainage.

L'option d'atténuation partira du principe que :

- les usagers seront formés sur l'utilisation rationnelle de l'eau et l'incitation à l'entretien de réseaux tertiaires (arroseurs et drains d'arroseurs) ;
- des forages seront réalisés pour satisfaire les besoins sociaux.

5.2.1.3 Calcul des émissions de GES :

Comme il a été souligné plus haut, l'amélioration de la gestion de l'eau dans le cas de l'option d'atténuation aboutira à un type d'irrigation correspondant à une inondation intermittente avec aérations multiples, ce qui permettra de réduire les émissions de CH₄. Cette diminution se fera sentir au niveau du facteur d'échelle, qui sera de 0,2 alors qu'il était de 0,5 dans le cas du scénario de base [Guide d'inventaire IPCC version 1996]. Les émissions de CH₄ ont été calculées avec ce nouveau facteur d'échelle, leur évolution de 1995 à 2025 est présentée dans le tableau 5.3. Non seulement une baisse significative des émissions est observée, mais en même temps cette amélioration de la gestion de l'eau aura des effets très positifs sur la qualité des sols car c'est le mauvais drainage qui fait remonter la nappe phréatique à la surface ce qui est la principale cause de la dégradation des sols de l'Office du Niger. L'amélioration de la qualité des sols entraînera une augmentation de la production de riz et une diminution des amendements minéraux nécessaires pour réhabiliter les sols dégradés.

Tableau 5.3. : calcul des émissions de CH₄ dans le cas de l'option d'atténuation

Années	Superficies (ha)	Quantité d'eau dans le cas de l'option de base (m ³)	Quantité d'eau dans le cas de l'option d'atténuation (m ³)	Economie d'eau réalisée (m ³)	Emission de CH ₄ (Gg)
1995	47 015	597 090	235 075	361 015	0
2000	77 015	978 090	385 075	593 015	6,16
2005	107 015	1 359 090	535 075	824 015	8,56
2010	137 015	1 740 090	685 075	1 055 015	10,96
2015	167 015	2 121 090	835 075	1 286 015	13,36
2020	197 015	2 502 090	975 075	1 527 015	15,76
2025	227 015	2 883 090	1 135 075	1 748 015	18,16

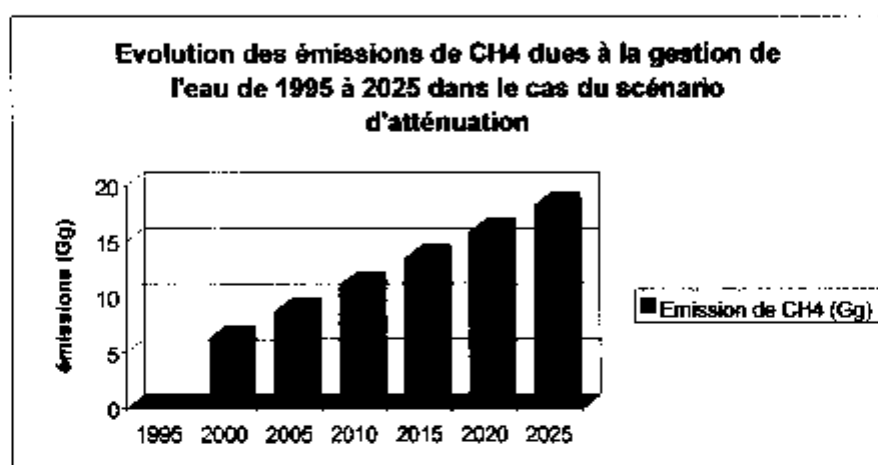


Figure 5.1. : émissions de CH₄ de 1995 à 2025 dans le cas du scénario d'atténuation

5.2.1.4. Matrice des coûts d'aménagement :

De sa création en 1932 jusqu'en 1995, 47 015 ont été aménagés à l'Office du Niger, soit une moyenne de réalisation de 4 800 ha tous les 5 ans.

Toutefois, compte tenu de la nouvelle politique de promotion du riz prônée par l'Office du Niger, à savoir attirer des investisseurs privés dans les travaux d'aménagement, un taux d'accroissement de 30 000 ha tous les cinq ans peut être retenu dans le cadre de cette étude. Et ceci sur la base de nombreuses demandes d'attributions de baux emphytéotiques enregistrées à ce jour.

Deux techniques d'aménagement des casiers rizicoles de l'Office du Niger ont été jusqu'à présent expérimentées. Dans le premier mode d'aménagement (aménagement à l'entreprise), après sélection à la suite d'un appel d'offres, tous les travaux sont exécutés par les entreprises qui ont été retenues. C'est ce mode d'aménagement couramment appelé à l'Office "clé à main" qui a toujours existé, jusqu'à une date récente (1995) avec l'expérience de N'Bewani. Dans le cas de l'aménagement du périmètre rizicole de N'Bewani (400 ha), une nouvelle approche a été expérimentée avec la participation des paysans à certains types de travaux. Cette participation paysanne a permis d'abaisser considérablement les coûts des aménagement ; en

effet de 3 000 000 F CFA dans le cas du premier mode d'aménagement, le coût d'aménagement à l'hectare est tombé à 2 000 000 de F CFA dans le cas de N'Bewani.

D'autre part pour une durabilité des actions, les partenaires au développement prônent l'aménagement avec une participation des bénéficiaires, qui dans le cas d'espèce de l'Office du Niger offre une garantie pour l'entretien des infrastructures hydrauliques.

Les coûts actualisés (avec un taux d'actualisation de 8 %) des travaux pour les deux modes d'aménagement de 1995 à 2025 sont présentés dans le tableau 5.4.

Tableau 5. 4. Coûts des aménagements des périmètres rizicoles de l'Office de 1995 à 2025

Années	Surfaces (ha)	Coûts d'aménagement			
		Travaux à l'entreprise (en KF)	Coûts actualisés	Travaux avec participation (KF)	Coûts actualisés
1995	47 015	141 045	130 597,22	94 030	87 064,81
2000	77 015	231 045	198 083,85	154 030	132 055,90
2005	107 015	321 045	254 855,87	214 030	169 903,91
2010	137 015	411 045	302 130,35	274 030	201 420,23
2015	167 015	501 045	341 002,81	334 030	227 335,21
2020	197 015	591 045	372 458,61	394 030	248 305,74
2025	227 015	681 045 000	397 383 216,24	454 030	264 922,14

a) Programme de formation et de sensibilisation à la gestion de l'eau :

1^o) Contexte :

Vu les niveaux des émissions de GES dans les deux scénarios et le taux d'augmentation de la population de la zone d'étude (7 %), un programme de formation s'impose pour réduire le taux d'augmentation des émissions de GES résultat de l'intensification de la riziculture.

Ce programme essentiellement orienté sur la gestion de l'eau s'articule autour des thèmes suivants :

- Amélioration de la procédure de gestion de l'eau.
- Suivi de la gestion de l'eau.

2^o) Les activités à mener :

Les thèmes identifiés avec la structure d'encadrement de l'Office et qui feront l'objet de formation des cadres et des paysans sont indiqués dans le tableau 5.5.

Tableau 5.5. : les thèmes de formation

Thèmes	Activités	Effets attendus
Amélioration de la gestion de l'eau	• Elaboration de la procédure de gestion de l'eau. • Elaboration et tenue des outils de gestion de l'eau : barème de débit registre de cote d'eau et de pluie, fiches de suivi de vie du réseau. • Formation des chefs d'arroseurs et agents sur les différents thèmes. • Formation en techniques de communication. • Formation des agents et paysans sur la gestion des périmètres. • Planification des irrigations. • Aménagement parcellaire.	• Maîtrise des irrigations. • Mieux assurer la disponibilité en eau des parcelles. • Diminution du gaspillage d'eau et amélioration de l'exploitation du réseau. • Réduction de la lame d'eau dans les parcelles
Suivi de la gestion de l'eau	• Constitution de bases de données sur l'ensemble des infrastructures de l'Office du Niger. • Constitution de bases de données sur l'ensemble des superficies exploitées. • Audits techniques des travaux d'entretien.	• Les besoins en eau des exploitations agricoles seront satisfaits à temps • L'encadrement disposera d'une méthode efficace de suivi des travaux d'entretien et des réseaux d'irrigation et de drainage.

3°) Méthodologie :

Dans le cadre de la mise en œuvre de ce programme, les besoins en formation seront actualisés pour chaque année de la plage d'étude à partir d'un diagnostic participatif.

Les différents canaux d'information et de sensibilisation des exploitants seront essentiellement : les radios rurales, les prêches, le théâtre utile, les échanges d'expériences, les concertations.

Les formations en salle compléteront le niveau de technicité des agents d'encadrement responsables de la gestion de l'eau.

Ce programme commencera par une sensibilisation des cadres de l'Office du Niger et des populations sur les effets des GES sur l'environnement.

Des guides d'animation seront produits pour chaque thème de formation jugé pertinent.

4°) Résultats attendus

A la suite de ces actions de formations et de sensibilisation des populations de la zone Office du Niger, l'intensification de la population de riz dans les 30 ans à venir se fera en prenant en compte les aspects environnementaux par une bonne gestion des infrastructures hydrauliques.

b) Atelier de sensibilisation sur le GES :

Objectif :

Expliquer aux participants les notions de changements climatiques, de Gaz à Effet de Serre, leurs effets sur l'environnement, l'influence de la gestion de l'eau et des techniques culturales sur les dégagements de GES dans le domaine de la riziculture.

Cibles :

- Cadres de l'Office du Niger ;
- Administration général de la Région de Ségou et des cercles de Niono et de Ké Macina ;
- Exploitants agricoles de l'Office du Niger ;
- La Chambre d'Agriculture ;
- Le Syndicat des Exploitants de l'Office du Niger.

Durée :

Au total quinze ateliers durant la période de l'étude :

- pour les cadres : 3 jours/session ;
- pour les exploitants avec leurs organisations 2 jours/session.

Tableau 5.6. : Calcul des coûts des ateliers de sensibilisation et de formation

Rubriques	Montant
Honoraires de deux formateurs 75 000 F CFA x 5 jours x 2	750 000 F CFA
Perdiems des formateurs à Niono 23 000 F CFA x 5 nuités x 2	230 000 F CFA
Organisation logistique des ateliers (hébergement, restauration) 20 000 F CFA/jour x 60 personnes x 5 jours	6 000 000 F CFA
Total	6 980 000 F CFA
Sous total 2 : 15 x 6980 000 F CFA	104 700 000 F CFA

c) Emissions Radio sur les GES :

Objectif :

- Produire des messages radio sur le GES
- Diffuser ces informations sur les stations de Niono et Ké Macina ;
- Accompagner les thèmes de formation paysanne sur l'amélioration de la gestion de l'eau.

Période :

Les messages seront diffusés en harmonie avec le calendrier agricole en ciblant surtout les périodes d'irrigation et de drainage.

Mode d'intervention :

Table ronde ;

Microprogramme.

Coûts

Tableau 5.7 : calcul des coûts des tables rondes et des microprogrammes

Rubrique	Montant (F CFA)
Organisation de la table ronde avec les cadres et exploitants	1 500 00
Microprogrammes	3 000 000
Sous total 3	4 500 000

d). Amélioration de la Gestion de l'eau :**Objectif :**

- Former et sensibiliser les cadres et les exploitants de l'Office du Niger sur la méthodologie de la bonne gestion de l'eau.
- Organiser des échanges d'expériences.

Cibles :

Agents de gestion de l'eau.

Chefs d'arroseurs, et de partiteurs.

Méthodologie :

Organisation de sessions de formation par thème et par groupe cible.

Coûts

5 000 000 F CFA/session x 10 sessions

50 000 KF

e). Suivi de la gestion de l'eau :

Tableau 5.8. : calcul des coûts de suivi de la gestion de l'eau.

Rubrique	Montant KF
Constitution de base de données à partir d'outil MARP	20 000
Evaluation d'étape et évaluation finale de la gestion de l'eau	20 000
Sous total 4	40 000

f) Réalisation de forages :

Avec la suppression des débits sociaux des canaux d'irrigation, un programme de forage de puits doit être entrepris pour l'alimentation en eau potable des populations. Ce volet est très important et son exécution sera échelonnée sur la durée du projet. Un rythme de 30 forages par an peut être retenu, le nombre de forages par village est de 3. A l'Office du Niger le nombre total de villages est de 148, avec une moyenne de 3 puits par village, le nombre de forage à réaliser est de 444.

Le coût unitaire de forage est estimé à 5 000 000 F CFA (Etude Alphalong Niono Mars 1998).

5.2.1.5. Calculs du coût de la tonne de CO₂ évitée en appliquant l'option d'atténuation :

En plus des aménagements qui restent le même dans les deux scénarios, l'option d'atténuation se résume principalement en deux actions :

- l'amélioration de la gestion de l'eau ;
- le remplacement d'une partie des engrais azotés par la fumure organique dans le but de diminuer les quantités d'engrais chimiques.

Les coûts des différentes rubriques qui interviennent dans ces deux options d'atténuation sont résumés dans les tableaux qui suivent.

1). Estimation des coûts des aménagements :

Les coûts des aménagements dans les deux scénarios sont les mêmes puisque ce sont les mêmes superficies qui sont aménagées.

Tableau 5.9. : évolution des coûts d'aménagement

Années	Travaux à l'entreprise en KF actualisés à 8 %	Travaux avec participation des paysans en KF actualisés à 8 %
1995	130 597,22	87 064,81
2000	198 083,85	132 055,90
2005	254 855,87	169 903,91
2010	302 130,35	201 420,23
2015	341 002,81	227 335,21
2020	372 458,61	248 305,74
2020	397 382 216,24	264 922,14

Ce sont les aménagements avec participation des paysans qui seront retenus pour la suite du travail.

2). Estimation des coûts dans le cadre de l'amélioration de la gestion de l'eau :

Les actions de sensibilisation et de formation qui sont actuellement menées à l'Office pour accroître la productivité seront considérées comme faisant partie du scénario de base. Conformément au chronogramme qui a été adopté, les coûts des différentes actions sont présentés dans le tableau 5.10 (les coûts sont exprimés en kilofrancs).

a) Coûts des actions de formation et de sensibilisation dans le cas du scénario de base :

Tableau 5.10 : évolution des coûts de formation et de sensibilisation dans le cas du scénario de base

Années	Atelier de formation et de sensibilisation (en KF)	Messages radio (en KF)	Constitution de base de données (en KF)	Total (en KF)	Total actualisé (en KF)
1995		252		252	233,33
2000	6219,36	252	1 485,2	7 956,56	6.821,47
2005	6219,36	252	2 970	9 441,76	7.495,17
2010	6219,36	252	1485,2	7 956,56	5.848,31
2015	6219,36	252	1485,2	7 956,56	5.415,10
2020	6219,36	252	1485,2	7 704,56	4.855,18
2025			1485,2	2 970	1.732,97

KF = Kilofrancs = x 1000 F CFA

b) Coûts des actions de formation et de sensibilisation dans le cas du scénario d'atténuation

Tableau 5.11 : évolution des coûts de formation et de sensibilisation dans le cas du scénario d'atténuation

Années	Atelier de formation et de sensibilisation (en KF)	Messages radio (en KF)	Constitution de base de données (suivi de la gestion eau) (en KF)	Total (en KF)	Total actualisé (en KF)
1995	0	0	0	0	
2000	30800	900	8000	39700	34.036,35
2005	46200	1350	12000	59550	47.272,71
2010	53900	1575	14000	69475	51.066,20
2015	15400	450	4000	19850	13.509
2020	7700	225	2000	9925	6.254,43
2025	0	0	0	0	0

3. Coûts des programmes de réalisation de forages dans le cas du scénario d'atténuation

Le coût moyen de réalisation d'un forage dans la zone Office est de 5 millions de F CFA. Les 444 forages seront repartis sur la plage à raison de 30 forages par an, les coûts correspondants sont regroupés dans le tableau 5.12.

Tableau 5.12. : évolution des coûts des forages dans le cas du scénario d'atténuation

Années	Nombre de forages	Coûts (KF)	Coûts actualisés (KF)
1995	-	-	-
2000	60	300 000	277.777,78
2005	150	750 000	643.004,12
2010	150	750 000	595.374,18
2015	84	420 000	308.712,54
2020	-	-	-
2025	-	-	-
Total		2 220 000 KT	

4. Récapitulatif et évolution des coûts pour le scénario d'atténuation lié à la gestion de l'eau

Tableau 5.13 : Répartition et évolution des coûts du scénario d'atténuation.

Activités	Montant KF	1 995	2 000	2 005	2 010	2 015	2 020	2 025
		0%	20%	30%	35%	10%	5%	0%
1 Sensibilisation	104 000	0	20 800	312 000	364 000	10 400	5 200	0
2 Emission Radio	4 500	0	900	1 350	1 575	450	225	0
3 Formation des cadres	50 000	0	10 000	15 000	17 500	5 000	2 500	0
4 Visite d'échanges d'expériences	150 000	0	30 000	45 000	52 500	15 000	7 500	0
5 Suivi de la gestion de l'eau	40 000	0	8 000	12 000	14 000	4 000	2 000	
6 Evaluation des program, de form, et sensibilisation	7 588				50%			50%
7 Réalisation de forage	2 220 000	0	300 000	750 000	750 000	420 000		3 794
CUMUL	2 576 088	0	369 700	1 135 350	1 199 575	454 850	17 425	3 794

5. Calcul des coûts de réduction de la TE-CO₂ lors de l'amélioration de la gestion de l'eau :

Tableau 5.14 : Evolution des coûts de réduction

Années	Emissions lors du scénario de base (E ^B en TE-CO ₂)	Coût scénario de base (C ^B) ((KF)	Emissions lors du scénario d'atténuation (E ^R en TE-CO ₂)	Coût scénario D'atténuation (C ^R) (KF)	$\frac{C^R - C^B}{E^B - E^R}$ KF/TE-CO ₂
1995	230,37	233,33	230,37	342.314,81	
2000	377,37	6.821,47	150,92	973.379,63	973210,6
2005	524,37	7.495,17	209,72	952.261,31	952037,2
2010	671,37	5.848,31	268,52	334.328,33	334051,0
2015	818,37	5.415,10	327,32	11.859,18	11525,22
2020	965,37	4.855,18	386,12	2.390,86	1999,71
2025	1 112,37	1.732,97	444,92		-446,47

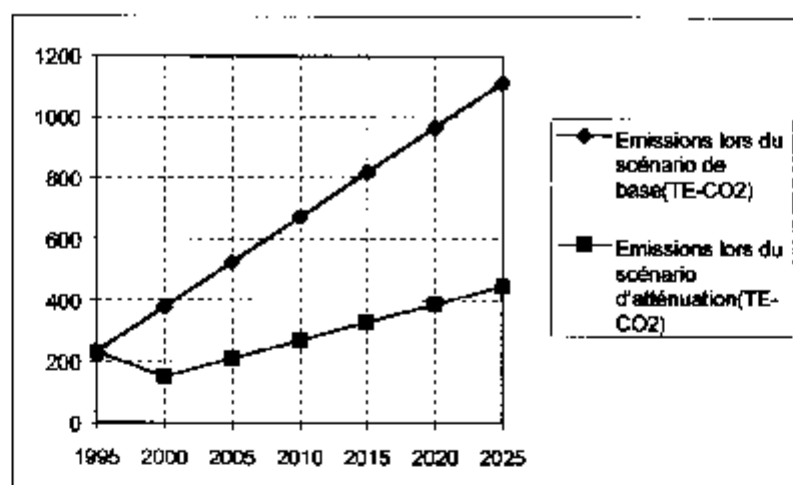


Figure 5.12: évolution des émissions de CH₄ dans les deux scénarios.

6. Chronogramme :

Le chronogramme d'exécution des différentes activités qui ont été retenues dans le cadre de l'amélioration de la gestion de l'eau est présenté sur le tableau ci-dessous.

Tableau 5.15 : chronogramme des activités dans le cadre de l'amélioration de la gestion de l'eau

Activités	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Sensibilisation		XXXXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXX
Emission radio		X	XXX	XXXXXXXX	X	X	
Formation des cadres et paysans		X	XXX	XX	XX	X	
Suivi évaluation		XX	XXXX	XXXXX	XX	X	
Evaluation finale							X

5.2.2. Option d'atténuation N°2 : Meilleure usage des techniques de fertilisation :

D'une façon générale les sols de l'Office du Niger sont peu pourvus en azote et en phosphore assimilable mais pourvus en potasse. L'ensemble de leurs qualités physico-chimiques les rend aptes à la riziculture sous réserve d'apport d'éléments fertilisants (Dabin, 1951 et Projet GEAU, 1981-1984).

Ce sont ces qualités physico-chimiques des sols de l'Office du Niger, c'est à dire la faible teneur en azote et phosphore, qui ont nécessité pour la culture du riz l'utilisation d'engrais minéraux, les plus utilisés actuellement étant l'urée et le DAP.

Trois éléments déterminants militent cependant actuellement contre l'utilisation massive des engrais chimiques. Ce sont :

- la dégradation des sols de l'Office du Niger par alcalinisation ;
- la dévaluation du franc CFA intervenue en janvier 1994, ce qui a entraîné une augmentation sensible des prix des engrais minéraux ;
- la restructuration de l'Office du Niger intervenue en mars 1994 : l'Office s'est désengagé des tâches d'approvisionnement en engrais, c'est le secteur privé qui a pris la relève entraînant des difficultés d'approvisionnement.

Ce dernier facteur ainsi que l'augmentation du prix des engrais minéraux font que certains paysans ne parviennent plus à apporter aux cultures les amendements minéraux nécessaires à leurs bonnes croissances.

La dégradation de plus en plus croissante des sols de l'Office du Niger et l'augmentation des prix des engrais chimiques sont aujourd'hui des facteurs incitatifs pour l'utilisation de la fumure organique par les paysans. Pour la campagne 1995-1996, la quantité de fumure utilisée a été de 53 592 tonnes.

D'après le rapport du GIEC, les options possibles en matière de réduction des émissions, et notamment l'amélioration de la gestion des exploitations et un meilleur usage des engrais azotés, permettront de préserver ou d'accroître la production agricole tout en ayant des effets positifs sur l'environnement.

Comme stratégie de réduction l'utilisation à grande échelle de la fumure organique sera retenue puisque beaucoup de travaux de recherche dans la zone Office du Niger ont montré l'effet bénéfique que l'utilisation de cet engrais organique apporte non seulement aux sols (donc à l'environnement), mais aussi à la production de riz.

A) Remplacement d'une partie des engrais chimiques par la fumure organique :

1. Justification de l'utilisation de la fumure organique :

En général la baisse de fertilité observée sur la plupart des sols de culture est liée à :

- l'absence ou la réduction de la durée de la jachère ;
- l'action néfaste de l'homme sur l'écosystème ;
- la faiblesse ou l'absence de restitution des résidus agricoles ;
- la faible utilisation de la fumure organique ;
- la mauvaise utilisation de la fumure organique.

Face à ces contraintes des actions doivent être entreprises pour une meilleure utilisation de la fumure organique.

Les engrais organiques sont des matières provenant des plantes ou des animaux. Lorsqu'elles sont déposées sur le sol ou qu'elles y sont enfouies, elles augmentent la fraction organique du sol.

L'utilisation de la fumure organique améliore les propriétés physico-chimiques du sol par :

- l'apport d'éléments fertilisants tels que : l'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments ;
- l'amélioration du pouvoir absorbant du sol ;
- l'amélioration de la capacité de rétention en eau du sol.

NB : un bon engrais organique est celui qui contient un mélange de matière facilement décomposables (qui pourrissent) et de matières se décomposant moins vite (qui pourrissent lentement).

2. Dose :

Beaucoup de résultats de recherche sur l'utilisation des différentes doses de fumure utilisée conjointement avec les engrais minéraux (fertilisation orgo-minérale) sont disponibles, ceux des Projets 2, et 4 du Programme Riz Irrigué du CRRA de Niono (IER) peuvent être retenus dans le cadre de cette étude d'atténuation.

La formule de fertilisation orgo-minérale (5t/ha de fumier ou la restitution de la paille produite-complément minérale) semble maintenir les rendements et la fertilité des sols en simple culture du riz. Les rendements de riz en hivernage après les cultures de tomates, oignon, arachide et gombo en contre saison ont donné des résultats satisfaisants (résultats du CRA de Niono)

En effet les résultats de la campagne 1995-1996 montrent qu'une réduction remarquable de 50 % en moyenne des quantités d'engrais minéraux utilisés a été observée sur les parcelles où la fumure organique a été utilisée (5 à 10 tonnes à l'hectare).

3. Calcul des émissions dans le cas de l'option de réduction N°2 :

L'utilisation des engrais azotés constitue l'une des principales sources de dégagement d'oxydes nitreux tel que le N_2O . Le mode et le moment les plus propices à l'épandage d'engrais contribuent beaucoup à l'atténuation des émissions de NO_x et de N_2O . Ces techniques sont bien maîtrisées à l'Office du Niger grâce à l'implication de la recherche pour d'autres raisons que les changements climatiques : la seule alternative fiable qui reste est de réduire les quantités d'engrais azotés utilisées à l'Office du Niger.

Dans cette option d'atténuation une partie des engrais azotés utilisés dans le cas du scénario de base sera remplacée par la fumure organique qui apporte aussi au sol des éléments enrichissants tels que l'azote, le phosphore, etc., mais à une faible dose. Pour calculer la quantité de fumure nécessaire, il faut se fixer un objectif. Celui qui a été retenu est le suivant : d'ici à l'an 2025, la proportion de superficies sur lesquelles la fumure organique sera appliquée passera de 11,5 % (cas de la situation de base) à 50 % des superficies aménagées. Cet objectif a été utilisé comme hypothèse de calcul et les résultats du projet 2 du CRRA de Niono (5t/ha de fumier et la restitution de la paille produit le complément minéral) comme élément de quantification. En appliquant les résultats de la campagne 1995-1996 c'est à dire une réduction remarquable de 50 % en moyenne des quantités d'engrais minéraux sur les parcelles où la fumure a été utilisée à une dose de 5 à 10 tonnes à l'hectare, les quantités de fumure organique et d'engrais azotés ainsi que les émissions correspondantes ont été calculées. L'évolution des émissions de N_2O de 1995 à 2025 est présentée sur la figure 12

Tableau 5.16 : émissions de N_2O dans le cas du scénario d'atténuation

Années	Quantité de fumure (t)	Emissions de N_2O scénario de base (Gg)	Emissions de N_2O scénario d'atténuation
1995	54 000	0,087	0,087
2000	186 000	0,136	0,088
2005	291 000	0,179	0,121
2010	39 600 000	0,222	0,154
2015	501 000	0,265	0,186
2020	606 000	0,308	0,219
2025	711 000	0,371	0,252

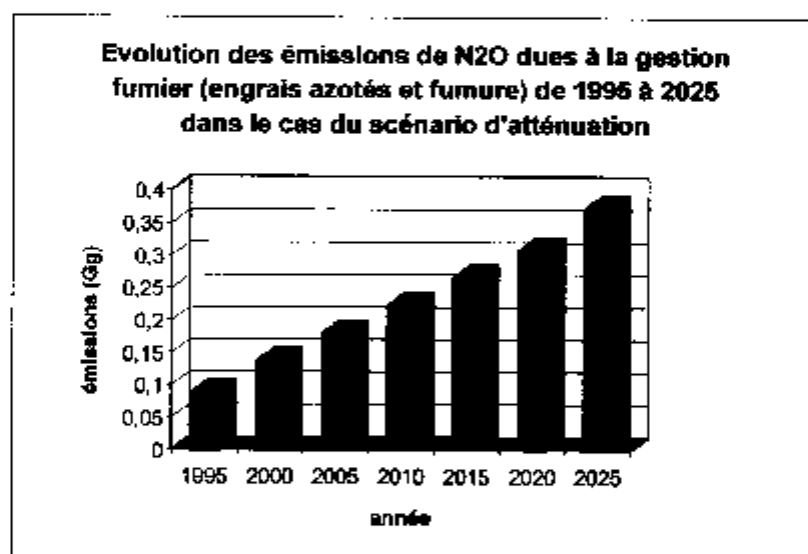


Figure 5.3 : Emissions de N_2O dues à la gestion du fumier (engrais azotés et fumure) de 1995 à 2025 dans le cas du scénario d'atténuation.

4. Evolution des émissions de GES dans le cas du scénario d'atténuation :

Les émissions de GES dues à la gestion de l'eau et à celle du fumier (engrais azotés et fumier) dans le cas du scénario d'atténuation sont données dans le tableau 5.12

Tableau 5.17 : évolution des émissions de GES dans la zone Office du Niger de 1995 à 2025 dans le cas du scénario d'atténuation

Années	Emissions de CH ₄ dues à la gestion de l'eau (TE-CO ₂)	Emissions de N ₂ O Dues à la gestion Du fumier (TE-CO ₂)	Total des émission de GES scénario d'atténuation (TE-CO ₂)
1995	78,13	27,43	2 100,55
2000	129,38	27,69	2 157,07
2005	179,78	38,01	2 222,80
2010	230,18	48,34	2 288,52
2015	280,58	58,66	2 354,25
2020	330,98	69,01	2 420,00
2025	381,38	79,31	2 485,70

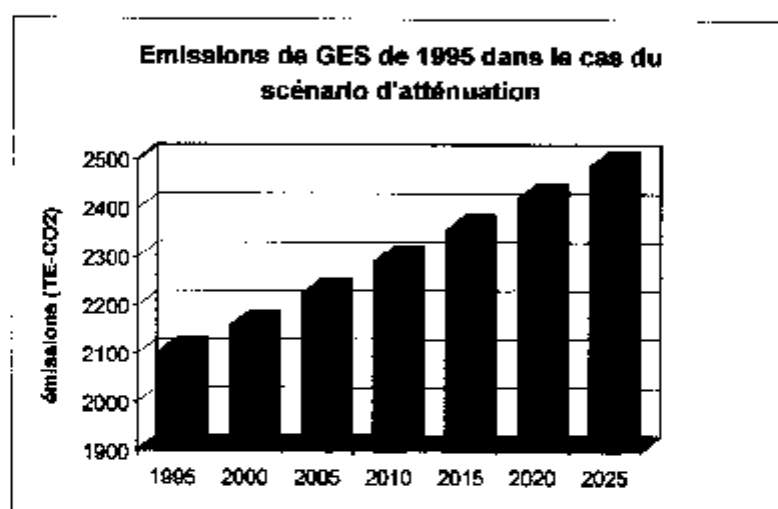


Figure 5.4. Emission de GES de 1995 à 2025 dans le cas du scénario d'atténuation

5. Estimation des coûts lors de la substitution de la fumure à une partie de l'engrais:

Tableau 5.18 : Coûts des engrais chimiques et de la fumure dans le cas du scénario de base :

Années	Quantité d'engrais chimiques	Coûts des engrais chimiques (KF)	Quantité de fumure organique	Coûts de la fumure organique (KF)	Total actualisé (KF)
1995	10 012	2400	54 000	540 000	500 000,00
2000	12 700	3 088	124 000	1 240 000	1 063 100,14
2005	15 400	3 885,7	194 000	1 940 000	1 540 034,55
2010	18 100	4 810,4	264 000	2 640 000	1 940 478,81
2015	20 800	5 882,4	334 000	3 340 000	2 273 147,88
2020	23 500	7 125	404 000	4 400 000	2 772 746,36
2025	26 200	8 565,7	474 000	4 740 000	2 765 744,47

Tableau 5.19 : Coûts des engrais chimiques et de la fumure dans le cas du scénario d'atténuation:

Années	Quantité d'engrais chimiques	Coûts des engrais chimiques (en KF)	Quantité de fumure organique	Coûts de la fumure organique (en KF)	Coûts de la sensibilisation à l'utilisation de la fumure (en KF)	Total Actualisé (en KF)
1995	10 012	2400	54 000	540 000		502 222,22
2000	12 700	3 088	124 000	1 240 000	18 924,2	1 081 972,05
2005	15 400	3 885,7	194 000	1 940 000	21 938,4	1 560 634,55
2010	18 100	4 810,4	264 000	2 640 000	25 432,9	1 962 708,54
2015	20 800	5 882,4	334 000	3 340 000	29 483,9	2 297 217,59
2020	23 500	7 125	404 000	4 400 000	35 169,87	2 799 399,30
2025	26 200	8 565,7	474 000	4 740 000		2 770 742,48

Tableau 5.20 : Calcul des coûts de réduction de la TE-CO₂ lors de la substitution de la fumure organique à une partie des engrais chimiques:

Années	Emissions lors du scénario de base (TE-CO ₂)	Coût scénario de base (en KF)	Coût actualisé du scénario de base (en KF)	Emissions lors du scénario d'atténuation (TE-CO ₂)	Coûts scénario d'atténuation (en KF)	Coût actualisé scénario d'atténuation (en KF)	$\frac{C^R - C_n}{E^R - E^R}$ FCFA/TE-CO ₂ (TE-CO ₂ /M)
1995	27,84	606 412	561 492,50	27,84		0	0
2000	43,52	1 379 788	1 182 45,82	28,16	1 398 712	1 199 170,10	1 366 979,15
2005	57,28	2 159 286	1 714 10,84	38,72	2 175 224	1 726 762,94	2 137 488,25
2010	71,04	2 926 910	2 151 66,23	49,28	2 952 343	2 170 060,24	2 911 092,85
2015	84,80	3 700 682	2 518 21,99	59,52	3 730 166	2 538 688,30	3 686 466,36
2020	98,56	4 834 625	3 046 33,83	70,08	4 869 795	3 068 796,90	4 820 672,31
2025	118,72	5 248 766	3 062 04,55	80,64	5 248 766	3 062 604,55	5 204 474,06

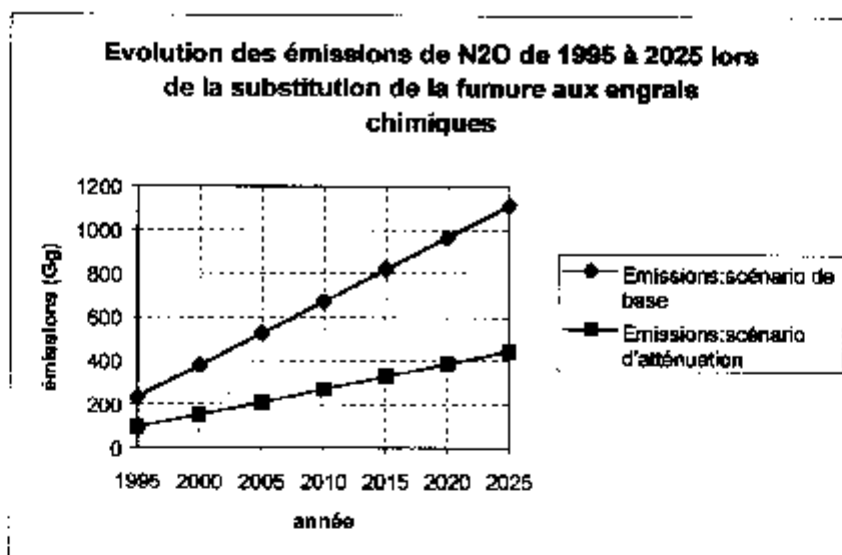


Figure 5.5: évolution des émissions de N₂O dans les deux scénarios.

B) Remplacement d'une partie des engrais chimiques par une culture d'azolla

1. Justification de l'utilisation de l'azolla :

C'est indubitablement sa capacité de fixation de l'azote atmosphérique qui est à la base de l'intérêt porté à la symbiose Azolla-Anabaena. Celle-ci possède cependant un certain nombre d'autres propriétés intéressantes et une tendance actuelle de la recherche consiste précisément à développer des pratiques culturales permettant de tirer simultanément parti de plusieurs d'entre elles.

On décrira brièvement ci-dessous les avantages qu'on peut espérer de l'azolliculture.

1.1. Apport d'azote :

De par son caractère diazotrophe Azolla enrichit en azote le milieu dans lequel il se développe ; cet azote sera libéré et éventuellement mis à la disposition des plantes de culture lors de la mort et de la décomposition de la fougère. Bien que de nombreux facteurs influencent l'importance de cet apport on peut estimer en première approximation que l'enfouissement d'un tapis d'Azolla de bonne qualité a généralement des effets comparables à l'application de trente à quarante unités d'azote à l'hectare.

1.2. Amélioration de la structure des sols :

La productivité élevée d'Azolla permet d'assurer un apport (par enfouissement) d'une quantité appréciable de matière organique au sol et dès lors d'améliorer sa structure. Compte tenu de la minéralisation, généralement rapide dans les sols tropicaux, des effets significatifs ne peuvent cependant être attendus que moyennant des incorporations massives et répétées.

1.3. Accumulation de potassium :

Azolla est plus apte que le riz à accumuler le potassium en milieu pauvre en cet élément. Ce potassium est restitué au sol lors de la décomposition de la fougère, qui joue ainsi indirectement un rôle d'engrais potassique.

1.4. Inhibition des adventices :

L'activité photosynthétique sous un tapis d'Azolla est fortement réduite par manque de lumière. Il en résulte que les plantules de nombreuses mauvaises herbes (celles dont les graines sont pauvres en réserves) meurent avant d'avoir pu percer cet écran et assurer leur métabolisme autotrophe. Cet effet « herbicide » est fonction du type d'adventices dominantes,

mais est souvent remarquable et particulièrement apprécié par le paysan dont les travaux de sarclage sont ainsi fortement allégés. De la même façon, Azolla empêche la prolifération d'algues nuisibles au développement des cultures irriguées.

1.5. Economie d'eau :

L'évapotranspiration d'un plan d'eau couvert d'Azolla est nettement inférieure à l'évaporation d'un plan d'eau nu ; cet effet doit être pris en considération lorsque l'eau est peu disponible ou onéreuse.

1.6. Régulation thermique :

La présence d'un tapis d'Azolla tamponne les fluctuations quotidiennes de température de l'eau sous-jacente ; selon les cas cet effet est favorable ou défavorable aux plantes de culture associées à Azolla.

1.7. Source d'aliment :

Azolla constitue un aliment valable pour de nombreux animaux d'élevage et son utilisation dans ce domaine est en forte expansion.

1.8. Source d'énergie :

Il est possible d'alimenter un digesteur à biométhane avec Azolla seul ou en mélange avec d'autres matériaux tels que la paille de riz, les effluents du digesteur étant récupérés comme engrais. L'expérience dans ce domaine, positive, est cependant très limitée et des recherches complémentaires sont requises.

2. Azolla, engrais vert en riziculture irriguée :

2.1. Monoculture :

2.1.1. Introduction :

Lorsque le calendrier ne prévoit pas d'occupation des casiers rizicoles pendant les jours ou semaines qui précèdent le repiquage du riz et que de l'eau est disponible à cette époque, il est possible de réaliser une monoculture d'Azolla dans ces casiers ; celle-ci sera enfouie quelques jours avant le repiquage, la décomposition d'Azolla assurant un bon apport d'azote, mais aussi de phosphore et de potassium, pendant les premières semaines de croissance du riz.

2.1.2. Préparation des casiers :

L'eau est introduite dans les casiers sans travail préalable du sol ; la persistance des bases de chaume de la culture précédente empêche en effet dans une large mesure le vent de provoquer l'accumulation des Azolla dans une partie de la rizière. Si pour une raison ou une autre un

labour a dû être effectué antérieurement à l'introduction d'*Azolla*, les irrégularités de terrain qu'il provoque exerceront le même effet.

Les travaux de labour et de planage seront cependant normalement réalisés en fin de monoculture, lors de l'enfouissement du tapis d'*Azolla*.

La nappe d'eau ne dépassera pas 5 cm environ, afin de favoriser le contact d'*Azolla* avec le sol, tout en ne permettant pas l'enracinement.

2.1.3. Préparation de l'inoculum :

Huit jours avant prélèvement de l'inoculum dans la pépinière celle-ci est éclaircie puis fertilisée à raison de 10 kg de superphosphate par hectare ; une seconde application est effectuée deux à trois jours avant récolte. Les *Azolla* ainsi enrichis en phosphore seront en mesure de se multiplier considérablement en rizière en utilisant leurs réserves. Il faut remarquer que l'engrais utilisé ne constitue pas une dépense supplémentaire puisqu'il sera restitué au riz lors de la décomposition d'*Azolla*.

En cas de besoin un traitement insecticide peut être appliqué quelques jours avant récolte. Une autre solution, économique, consiste à disposer les *Azolla*, lors de leur récolte, en tas sur la berge de la pépinière et à imprégner cette biomasse à l'aide d'un insecticide approprié, deux jours au plus tard ces *Azolla* pourront servir d'inoculum.

2.1.4. Densité d'inoculation :

Le choix de la densité d'inoculation est basé sur un compromis. Il faut noter en effet que :

- Une quantité donnée produit le maximum par unité de temps si la surface disponible n'est pas limitante (phase exponentielle, densité de population inférieure à 1 kg.m^{-2}) ;
- Une surface donnée produit un maximum par unité de temps si la biomasse est comprise entre 1 et environ 2 à 4 kg.m^{-2} (phase linéaire) ;
- De faibles densités sont favorables au développement des adventices ;
Le temps requis pour atteindre la biomasse d'enfouissement (si possible 2 à 4 kg.m^{-2}) et donc le temps d'occupation du champ et de consommation d'eau est inversement proportionnel à la densité d'inoculation.
- La surface de pépinière nécessaire à l'inoculation d'une surface donnée de rizière est proportionnelle à la densité d'inoculation.
- La main-d'œuvre requise pour l'inoculation (récolte, transport et dispersion des *Azolla*) est proportionnelle à la densité d'inoculation.

Compte tenu de ces éléments les densités d'inoculation recommandées varient et moins de 100 g.m^{-2} à 1 kg.m^{-2} . Les doses les plus faibles se justifient lorsque le temps et l'eau ne sont pas des facteurs limitants et que le danger de prolifération des adventices, des algues et des prédateurs est faible. Ces conditions sont rarement remplies en régions tropicales et correspondent plutôt à la situation hivernale en zones subtropicales, par exemple dans le nord du Vietnam ou dans le sud de la Chine où on a développé la monoculture d'*Azolla* en hiver, en rotation avec deux cultures annuelles de riz. Il faut noter que cette pratique tend à régresser, les cultivateurs préférant souvent réaliser des cultures maraîchères, plus rentables en cette saison, quitte à faire appel aux engrais commerciaux pour assurer les besoins du riz.

Tableau 5.22 : Calcul des coûts de formation dans le cas du scénario d'atténuation sur la plage d'étude.

Années	Coûts de formation des conseillers agricoles (F CFA)	Coût des séances de formations et de démonstration (F CFA)	Total des coûts de formation (F CFA)
2000	2 200 000	23 040 000	25 240 000
2005	1 100 000	96 300 000	97 400 000
2010	500 000	14 355 000	14 855 000
2015	500 000	14 355 000	14 855 000
2020	500 000	14 355 000	14 855 000
2025	500 000	14 355 000	14 855 000
Cumul	5 300 000	176 760 000	182 060 000

Les hypothèses suivantes ont été utilisées pour le calcul des coûts de formation :

Formation

conseillers agricoles :

Exploitants agricoles

Nombre : 20

Coût : 55 000 F CFA/stagiaire/semaine

45 000 F CFA/stagiaire/semaine.

Information, sensibilisation : des messages radio seront diffusés dans les différentes stations locales de la zone sur l'importance de l'utilisation de l'Azolla en riziculture et son impact sur l'environnement.

Le concours de structures nationales, régionales ou internationales ayant une expérience en matière de culture et de gestion d'azolla sera sollicité.

Tableau 5.23 : coût des campagnes d'information et de sensibilisation

Années	Emissions radio (F CFA)	Echanges d'expériences	Total (F CFA)
2000	2 000 000	10 000 0000	12 000 000
2005	2 000 000	10 000 000	12 000 000
2010	2 000 000	5 000 000	7 000 000
2015	2 000 000	5 000 000	7 000 000
2020	2 000 000	5 000 000	7 000 000
2025	2 000 000	5 000 000	7 000 000
Cumul	12 000 0 00	40 000 000	52 000 000

4. Calcul des émissions dans le cas de l'association de l'urée et l'azolla :

L'utilisation des engrais azotés constitue l'une des principales sources de dégagement d'oxydes nitreux tel que le N_2O . Le mode et le moment les plus propices à l'épandage d'engrais contribuent beaucoup à l'atténuation des émissions de NO_x et de N_2O . Ces techniques sont bien maîtrisées à l'Office du Niger grâce à l'implication de la recherche pour d'autres raisons que les changements climatiques : la seule alternative fiable qui reste est de réduire les quantités d'engrais azotés utilisées à l'Office du Niger.

Dans cette option d'atténuation une partie des engrais azotés utilisés dans le cas du scénario de base sera remplacée par une culture d'azolla qui apporte aussi aux cultures les suppléments d'azote dont elles ont besoin pour une croissance normale.

Conformément à l'évolution de l'adoption d'azolla qui a été adoptée, les émissions de N_2O ont été calculées dans les deux cas : scénarios de base et d'atténuation. Les évolutions des émissions de N_2O de 1995 à 2025 est présentée sur la figure 12.

Tableau 5.24 : émissions de N_2O dans le cas des scénarios de base et d'atténuation

Années	Quantité d'urée remplacée par l'azolla (T)	Emissions de N_2O scénario de base (Gg)	Emissions de N_2O scénario d'atténuation
2000	231	0,07	0,068
2005	963	0,102	0,094
2010	2 871	0,124	0,101
2015	7 516	0,147	0,086
2020	11 821	0,169	0,073
2025	17 026	0,192	0,054

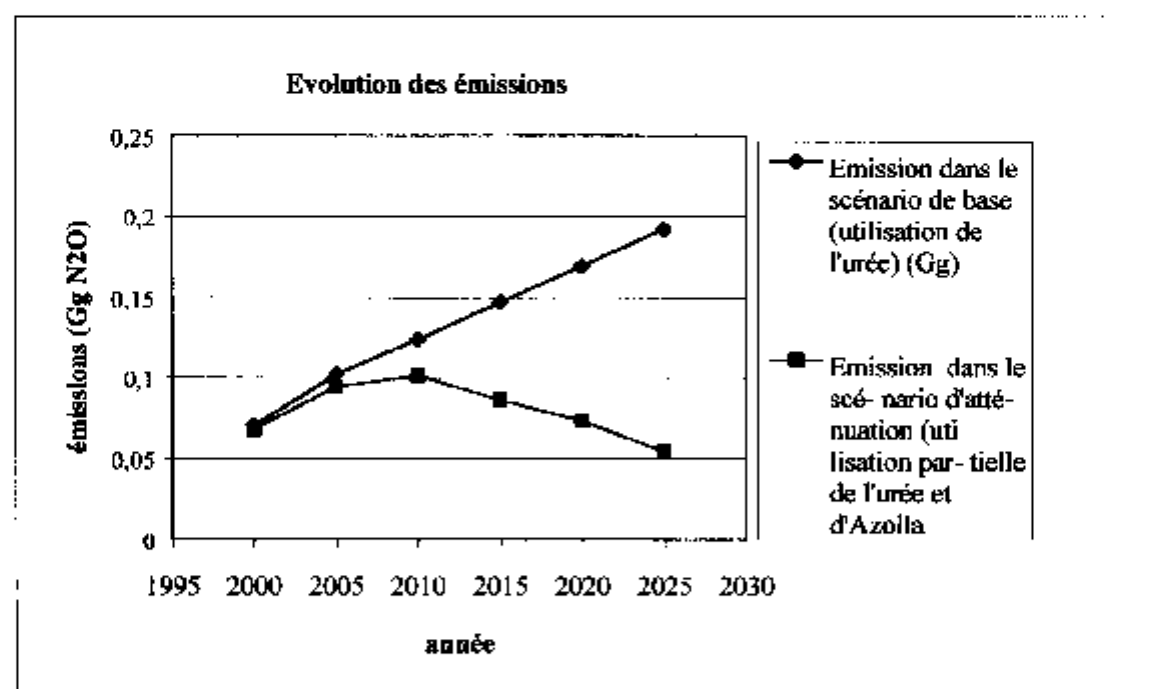


Figure 5.6. : Emissions dans le scénario de base et dans l'option d'utilisation associée de l'urée et l'azolla

Tableau 5.25: Evolution des coûts dans le cas du scénario d'atténuation

Années	Quantité d'engrais chimiques (T)	Coûts des quantités d'urée utilisées (en KF)	Coût de culture et d'entretien d'azolla (KF)	Coûts de formation des conseillers agricoles (KF)	Coûts des formations/démonstration (en KF)	Total des coûts dans le cas du scénario d'atténuation (en KF)
2000	22 874	4 474 800		2 200	23 040	4 600 040
2005	31 142	6 851 240		1 100	96 300	6 946 640
2010	38 233	9 252 386		500	14 355	9 267 241
2015	42 589	11 337 192		500	14 355	11 352 046
2020	47 284	13 845 700		500	14 355	13 860 555
2025	51 079	16 447 540		500	14 355	16 447 540

Tableau 5.26 : évolution des coûts dans le cas du scénario de base

Années	Quantités d'urée utilisées (T)	Coût de l'urée utilisé (KF)
2000	23 105	4 621 000
2005	32 105	7 063 100
2010	41 105	9 947 410
2015	50 105	13 337 951
2020	59 105	17 307 126
2025	68 105	21 929 946

Tableau 5.27 : évolution des coûts de réduction de la TE-CO₂ lors de la substitution de l'azolla à une partie des engrais chimiques (urée)

Années	Emissions lors du scénario de base (TE-CO ₂)	Coût scénario de base (en KF)	Emissions lors du scénario d'atténuation (TE-CO ₂)	Coûts scénario d'atténuation (en KF)	$\frac{C^R - C_B}{E^B - E^R}$ FCFA/TE-CO ₂ (TE-CO ₂ / F CFA)
2000	21,7	4 621 000	21,08	4 600 040	3 294 806
2005	31,62	7 063 100	29,14	6 946 640	832 968
2010	38,44	9 947 410	31,31	9 267 241	291 690
2015	45,57	13 337 951	26,66	11 352 046	110 377
2020	52,39	17 307 126	22,63	13 860 555	70 397
2025	59,52	21 929 946	16,74	16 447 540	48 118

L'évolution du coût de réduction dans le cas de l'utilisation de l'azolla est montrée sur la figure ci-dessous. En l'an 2000 qui est l'année de début des campagnes de formation, de sensibilisation et de remplacement d'une partie de l'urée par l'azolla, on voit que le coût de réduction de la tonne de CO₂ est très élevé. Cela est dû au fait que la première année, une très faible quantité d'azolla est substituée à l'urée, mais au même moment les campagnes de sensibilisation et de formation qui occasionnent des coûts considérables (surtout la première année) démarrent. Au fur à mesure que la quantité d'azolla croît, les coûts de réduction baissent sensiblement : ainsi de 3 294 806 F CFA en 2000, ils passent à 49 118 F CFA la tonne de CO₂.

Figure : évolution des coûts de réduction de 2000 à 2025 dan le cas du remplacement d'une partie de l'urée par l'azolla.

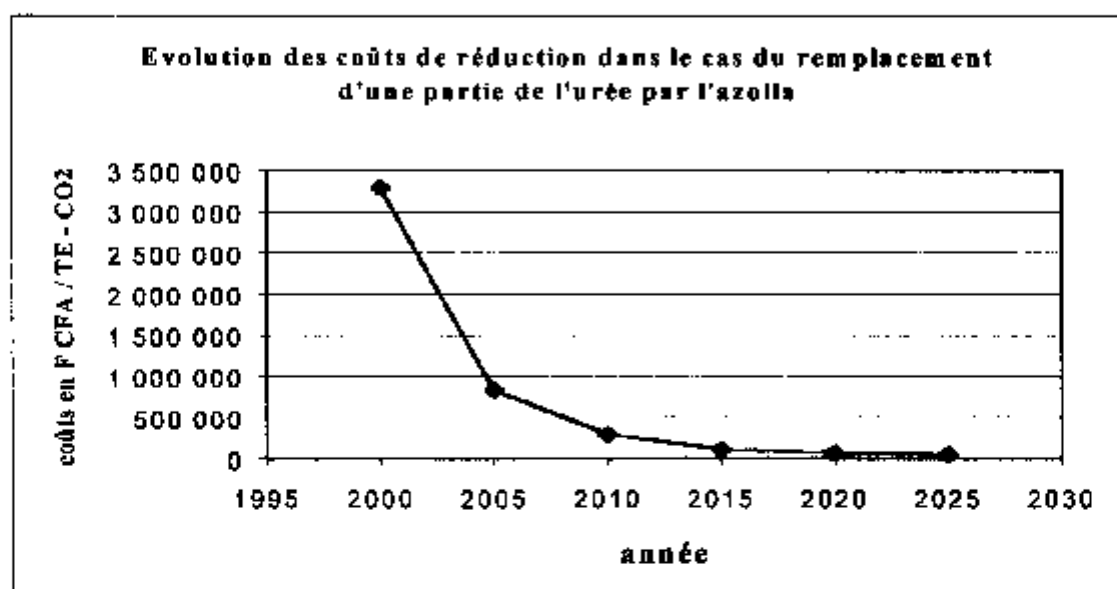


Figure 5.7 : Evolution des coûts de réduction dans le cas du remplacement d'une partie de l'urée par l'azolla

L'analyse des trois options d'atténuation nous permet d'avoir les résultats synthétiques ci-dessous.

Synthèse des résultats :

- 1. L'évolution des émissions de N₂O dans le scénario de base et dans les trois options d'atténuation :**

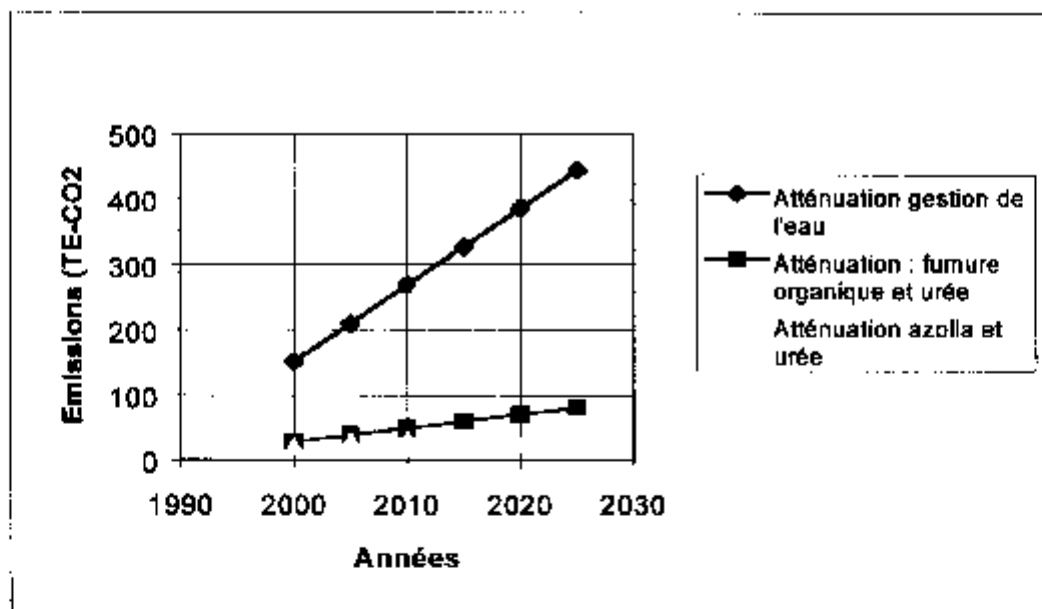


Figure 5.8 : Evolution des émissions dans les options d'atténuation

2. Evolution des coûts d'atténuation des émissions de N_2O dans les trois options :

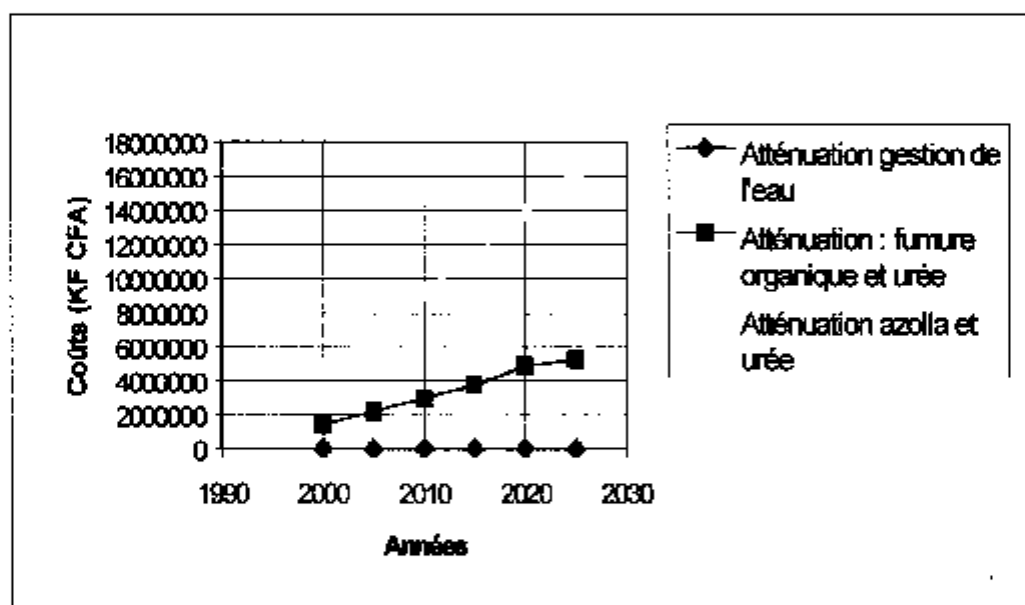


Figure 5.9 : Evolution des coûts d'atténuation des trois options

3. Courbes de comparaison des options d'atténuation de N_2O :

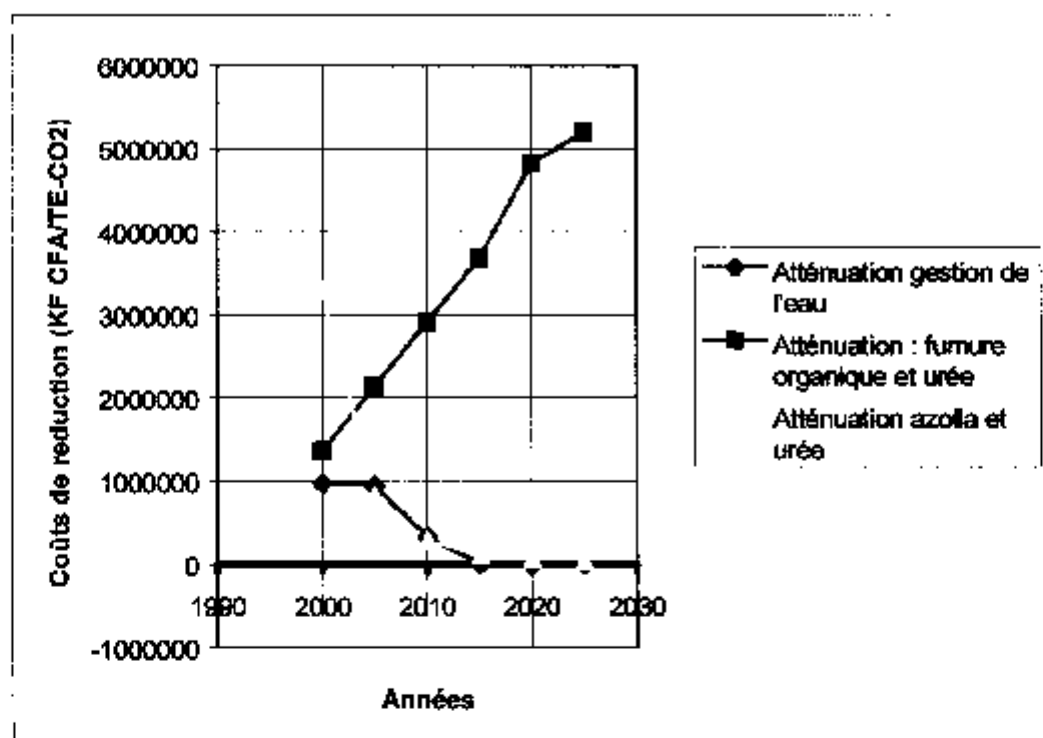


Figure 5.10 : Comparaison des coûts de réduction/TE-CO₂

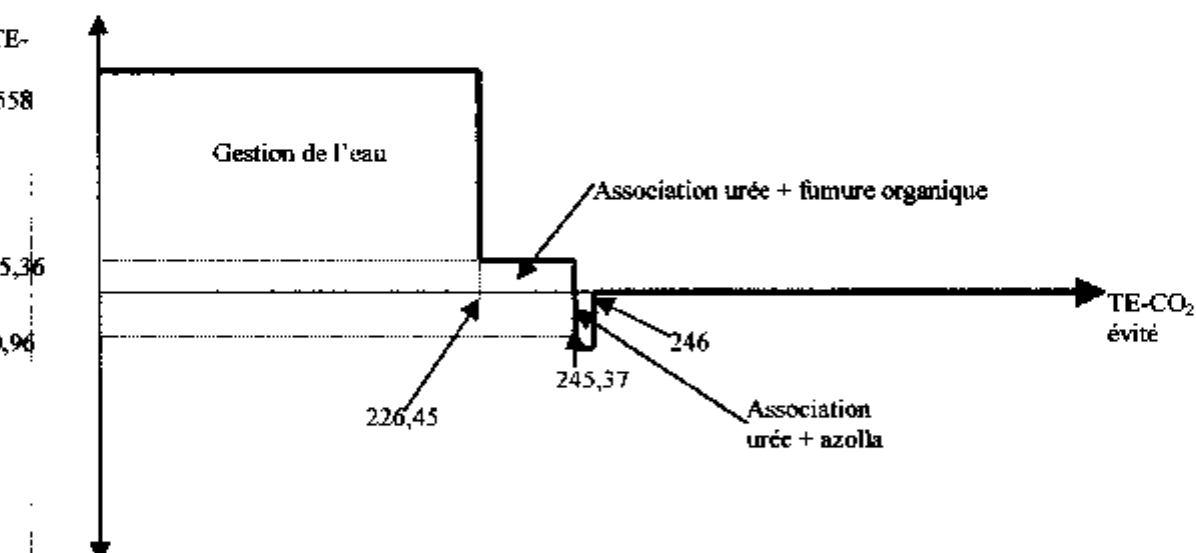


Figure 5.11 : Comparaison des options d'atténuation pour l'an 2000

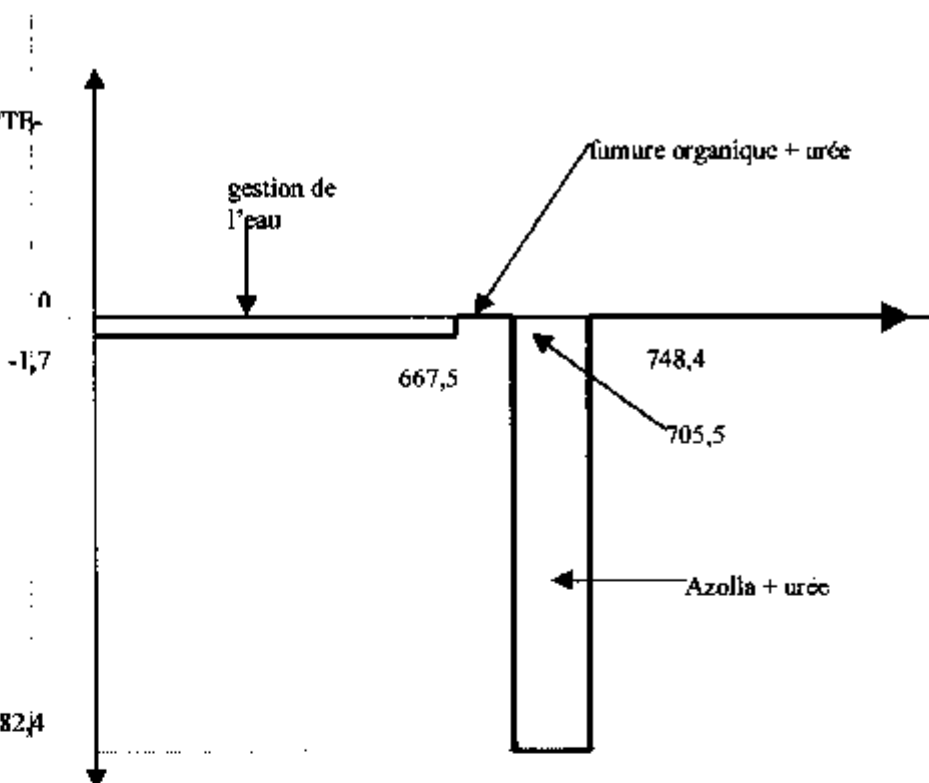


Figure 5.12 : Comparaison des options d'atténuation pour l'an 2025

CONCLUSION

L'analyse des réductions d'émission de GES ainsi que les coûts liés aux réductions (figure 15) permet de constater :

1. les coûts relativement faibles du scénario d'atténuation par la gestion de l'eau par rapport à l'atténuation par l'utilisation de la fumure organique
2. Dans le cas du scénario par la gestion de l'eau, les coûts se stabilisent pratiquement entre 2000 et 2005. A partir de 2005, il y a une baisse progressive des coûts d'atténuation.
3. Dans le cas de l'utilisation de la fumure organique, les coûts ont une tendance à la hausse au fil des années.
4. Pour l'association de l'azolla et l'urée, les coûts sont élevés au début de l'adoption du scénario c'est-à-dire à l'an 2000. A partir de 2005, ce scénario se confond pratiquement à celui de la gestion de l'eau.

Tout en ayant à l'esprit que l'utilisation de la fumure organique et de l'azolla ont d'autres avantages qui ne sont pas chiffrés ici, il conviendra d'adopter parallèlement les trois scénarios.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[[1] Rapport d'inventaire des émissions de GES: Projet: GEF RAF/93/G31 CNRST BAMAKO MALI, Mai 1998.

[2] Rapports annuels de l'Office du Niger

[3] Rapport sur le plan d'aménagement de l'Office du Niger