



NATURE-BASED INFRASTRUCTURE
GLOBAL RESOURCE CENTRE

Évaluation des actifs durables (SAVi) liés à la restauration des mangroves dans le Sine Saloum, au Sénégal

RAPPORT IFN

PRÉLIMINAIRE



© 2026 International Institute for Sustainable Development
Publié par l'Institut international du développement durable

Cette publication est soumise à la licence [Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International](#).

À propos du Centre mondial de ressources IFN

Le **Centre mondial de ressources sur les infrastructures fondées sur la nature (IFN)** vise à améliorer les résultats des IFN afin de fournir des services d'infrastructure et de s'adapter aux changements climatiques tout en apportant d'autres bénéfices environnementaux, sociaux et économiques. Nous fournissons des données, des formations et des évaluations personnalisées des projets IFN, basées sur les dernières innovations en matière de pensée systémique et de modélisation financière.

Le Centre est une initiative menée par l'IISD, avec le soutien financier du Fonds pour l'environnement mondial (FEM) et de la Fondation MAVA, en partenariat avec l'UNIDO.

Évaluation des actifs durables (SAVi) liés à la restauration des mangroves dans le Sine Saloum, au Sénégal

Juillet 2026
PRÉLIMINAIRE

Rédigé par Edoardo Carlucci (IISD)

Photo : Institut international du développement durable

Avertissement : ce projet de publication a été rédigé avec l'aide de ChatGPT le 23 décembre 2025, dans le but d'assurer la traduction de l'anglais vers le français. Le contenu a été relu en interne par le personnel de l'IISD et en externe par un relecteur professionnel.



NATURE-BASED INFRASTRUCTURE
GLOBAL RESOURCE CENTRE

Supported by



Led by





Remerciements

L'équipe du projet exprime sa sincère gratitude à Frédérique Thomas, Abou Ba, Mamadou Ciss et Dior Diagne (SOCODEVI) ainsi qu'à Yakhya Gueye (UICN) pour la fourniture de données locales, l'organisation des ateliers et des visites de terrain ainsi que la relecture du rapport technique. Nous adressons des remerciements particuliers à Jane Boles, Trevor Jones et Andrew Butt (TAYO Climate Partners) ainsi qu'à Thierry Bodson pour leur soutien essentiel à la collecte des données, aux visites sur site et à la coordination des conférences. Nous remercions également la Direction des Aires Marines Communautaires Protégées (DAMCP) pour son appui aux travaux de terrain, à la validation des données et à la vérification des résultats.

L'équipe du projet remercie par ailleurs les partenaires de mise en œuvre de Natur'ELLES — CAREM (Coordination des Actions pour la Restauration des Écosystèmes Mangroves), CASADES, Nébédary et le REFEPAS (Réseau des Femmes de la Pêche Artisanale du Sénégal) — pour leur précieuse collaboration et leur engagement continu.

Andrea M. Bassi, Liesbeth Casier, Benjamin Simmons et David Uzsoki ont relu ce rapport et formulé des commentaires particulièrement utiles.

Ce rapport s'inscrit dans le cadre d'un partenariat plus large entre SOCODEVI, l'UICN et l'IISD, visant à faire progresser le projet Natur'ELLES à travers l'application de la méthodologie SAVi, des analyses financières, des activités de renforcement des capacités et un appui au Symposium sur les écosystèmes de mangroves au Sénégal (21–23 juillet 2025), au cours duquel l'IISD a présenté les conclusions préliminaires de ce rapport.

Natur'ELLES est un projet financé par Affaires mondiales Canada (AMC).



Global Affairs
Canada
Affaires mondiales
Canada



Résumé

Le delta du Sine Saloum, situé dans le centre-ouest du Sénégal, est une réserve de biosphère de l'UNESCO couvrant environ 232 500 hectares, dont 58 300 hectares d'écosystèmes de mangroves. Ces mangroves fournissent des services écosystémiques essentiels, notamment une protection du littoral et un soutien aux activités halieutiques, assurant les moyens de subsistance de plus de 100 000 personnes. Le delta fonctionne comme un estuaire inversé, caractérisé par l'intrusion de l'eau de mer vers l'amont, ce qui rend la région particulièrement vulnérable à la salinisation, à l'érosion côtière et à la perte d'habitats (WIACO, 2025).

Depuis les années 1980, la surexploitation du bois de mangrove, l'expansion de la riziculture dans des zones côtières sensibles, la mauvaise gestion des déchets et les effets des changements climatiques ont considérablement accentué la dégradation environnementale du delta. Ces pressions combinées ont perturbé les systèmes hydrologiques et accéléré la salinisation des sols. En conséquence, plus de la moitié des terres agricoles sont aujourd'hui salines, contraignant de nombreux agriculteurs à abandonner leurs rizières et aggravant la pauvreté ainsi que l'insécurité alimentaire (WIACO, 2025).

Les femmes, dont les moyens de subsistance reposent largement sur la pêche, la récolte d'huîtres et la collecte de miel, de plantes médicinales et de bois de chauffage, ainsi que sur le maraîchage, sont particulièrement vulnérables à ces dynamiques. Toutefois, elles figurent également parmi les principales bénéficiaires potentielles de la restauration des mangroves. Il est donc essentiel d'intégrer les efforts de restauration des écosystèmes à des mécanismes de gestion communautaire afin de préserver l'intégrité écologique du delta, de renforcer la résilience face aux changements climatiques et de sécuriser durablement les moyens de subsistance des populations locales (WIACO, 2025).

Figure ES1. Mangroves au Sénégal



Source : Institut international du développement durable.



Cette évaluation analyse l'influence de la fréquence des inondations et des changements climatiques sur les résultats de la restauration des mangroves sur une période de 27 ans, de 2024 à 2050. Deux scénarios d'inondation sont pris en considération, définis en fonction de la fréquence des événements d'inondation extrême (tableau 2). Dans le scénario d'inondations sévères, les inondations extrêmes sont plus fréquentes et surviennent en moyenne tous les deux ans. À l'inverse, dans le scénario d'inondations modérées, ces événements sont moins fréquents et se produisent environ tous les cinq ans.

Parallèlement, l'évaluation examine les conditions climatiques futures selon deux trajectoires d'émissions SSP,¹ c'est-à-dire deux scénarios d'évolution possible des émissions de gaz à effet de serre à long terme : la trajectoire SSP3-7.0,² correspondant à un niveau d'émissions intermédiaire, et la trajectoire SSP5-8.5,³ associée à un niveau d'émissions élevé.

Chacune des quatre combinaisons de scénarios ainsi obtenues est ensuite évaluée selon quatre niveaux hypothétiques de réduction des dommages aux infrastructures, à savoir 2,5 %, 5 %, 7,5 % et 10 %. Ces hypothèses reflètent l'incertitude entourant l'efficacité des mangroves restaurées à atténuer les dommages liés aux inondations. Le seuil de 2,5 % correspond à une hypothèse prudente de protection limitée, tandis que le seuil de 10 % représente une estimation optimiste de l'efficacité maximale potentielle des mangroves.

Cette approche permet de prendre en compte l'incertitude liée au succès des efforts de restauration et aide les décideurs à mieux comprendre comment les variations de la performance protectrice des mangroves influent sur la viabilité économique et stratégique globale du projet.

Tableau ES1. Réduction des dommages aux infrastructures évaluée en fonction de l'efficacité de la protection du projet de restauration des mangroves

Efficacité de la protection	Réduction des dommages aux infrastructures
Élevée	10 %
Moyenne/élevée	7,5 %
Moyenne/faible	5 %
Faible	2,5 %

Source : Auteur.

¹ Les SSP sont des scénarios qui imaginent différentes façons dont le monde pourrait évoluer dans le futur - par exemple en fonction de la croissance économique, de la population, des technologies ou des politiques publiques. Ils servent à estimer comment ces évolutions peuvent influencer sur les émissions de gaz à effet de serre et donc le climat.

² SSP3-7.0 correspond à un scénario où les émissions de gaz à effet de serre restent élevées au cours du siècle.

³ SSP5-8.5 correspond à un scénario où les émissions restent très élevées, donc à un réchauffement encore plus fort.



Les résultats montrent des retombées économiques positives dans l'ensemble des scénarios analysés, comme présenté dans les tableaux 2 et 3.

L'analyse fournit les principaux résultats suivants sur la base des scénarios climatiques et de fréquence des inondations.

Régimes de fréquence des inondations :

Dans les scénarios d'inondations modérées, la valeur actuelle nette (VAN) varie entre 6,47 milliards de francs CFA pour une réduction des dommages aux infrastructures de 2,5 % et 12,45 milliards de francs CFA pour une réduction de 10 %.

Les scénarios d'inondations sévères génèrent des rendements économiques nettement plus élevés, la VAN atteignant jusqu'à 24,10 milliards de francs CFA dans les conditions les plus favorables, lorsque l'efficacité de la protection est estimée à 10 %.

Les rapports bénéfices-coûts (RBC) demeurent systématiquement supérieurs à 2,0, avec des valeurs comprises entre 2,27 et 5,71. Cela signifie que chaque franc CFA investi dans la restauration des mangroves génère entre 2,27 et 5,71 francs CFA en dommages évités et en bénéfices socio-économiques.

Les résultats indiquent que les performances du projet s'améliorent sensiblement lorsque la fréquence des inondations augmente et que l'efficacité de la protection est plus élevée, confirmant que la restauration des mangroves offre des rendements croissants dans les environnements à haut risque climatique.

Scénarios climatiques futurs :

Dans le scénario SSP3-7.0, caractérisé par des émissions intermédiaires mais des inondations plus fréquentes entre 2024 et 2050, la restauration des mangroves génère les rendements économiques les plus élevés. Avec une efficacité de protection de 10 %, la VAN atteint 13,1 milliards de francs CFA, tandis que le rapport bénéfices-coûts s'élève à 3,97.

À l'inverse, le scénario SSP5-8.5, marqué par des émissions élevées mais des inondations moins fréquentes durant la période du projet, offre des rendements plus faibles. La survenue plus tardive des inondations limite les opportunités de prévention des dommages, entraînant des coûts évités moins importants et retardés, et donc une VAN inférieure.

Néanmoins, même dans ce scénario et avec une efficacité de protection limitée, la restauration des mangroves demeure économiquement viable. Avec une réduction de seulement 2,5 % des dommages aux infrastructures, la VAN atteint 5,0 milliards de francs CFA et le rapport bénéfices-coûts est de 2,1.

Dans l'ensemble, les résultats montrent que la restauration des mangroves est particulièrement efficace lorsque les inondations sont plus fréquentes et surviennent plus tôt, ce qui maximise la réduction des dommages et accroît la VAN. Ces constats confirment la viabilité économique du projet dans l'ensemble des scénarios climatiques analysés.

Bénéfices au-delà de la protection contre les inondations :



Au-delà de la réduction des dommages liés aux inondations, la restauration des mangroves génère un large éventail de bénéfices et permet d'éviter des coûts substantiels.

La création d'emplois représente 2,42 milliards de francs CFA, soit 31 % des bénéfices totaux (hors dommages évités aux infrastructures). Les biens essentiels et les services écosystémiques, notamment la nourriture, le bois et l'eau potable, contribuent à hauteur de 2,30 milliards de francs CFA (30 %). L'amélioration des rendements agricoles et halieutiques génère 1,62 milliard de francs CFA (20,6 %), tandis que la séquestration du carbone apporte 840 millions de francs CFA (10,7 %). Enfin, les bénéfices liés à la santé représentent 610 millions de francs CFA (7,8 %) sous forme de coûts évités.

Pris ensemble, ces bénéfices renforcent les moyens de subsistance, améliorent la résilience des communautés et positionnent la restauration des mangroves comme une intervention stratégique aux retombées sociales et économiques étendues.

Analyse différenciée selon le genre :

L'analyse montre que les femmes captent 1,38 milliard de francs CFA, soit environ 29 % des bénéfices totaux, grâce à l'augmentation des revenus agricoles, à la récolte accrue de fruits de mer, à la création d'emplois et à la réduction des coûts de santé. Toutefois, des obstacles persistants — notamment des droits fonciers et d'accès aux ressources limités, une exclusion des processus décisionnels et un accès restreint au financement — menacent la durabilité de ces gains. Il est donc essentiel de renforcer l'autonomisation des femmes à travers des structures de gouvernance inclusives, le développement des capacités et des mécanismes de financement ciblés, afin de maximiser à la fois l'équité sociale et les résultats écologiques.

Enseignements pour les parties prenantes :

Les résultats de cette évaluation offrent des orientations claires pour les acteurs engagés dans la gestion et le développement de l'écosystème du Sine Saloum.

- **Les autorités chargées de la conservation marine** sont encouragées à prioriser la restauration des mangroves en tant que stratégie multifonctionnelle, capable de renforcer la protection contre les inondations, d'améliorer la qualité de l'eau et d'accroître le stockage du carbone, tout en générant des bénéfices sociaux et économiques durables.
- **Les autorités environnementales** peuvent s'appuyer sur ces résultats pour démontrer les progrès réalisés dans la mise en œuvre du Plan national d'adaptation (PNA) du Sénégal. L'initiative Natur'ELLES contribue directement à la vision d'un littoral productif, propre et résilient, en répondant aux défis de l'érosion côtière, de la salinisation et de la vulnérabilité des moyens de subsistance, et s'aligne pleinement sur les quatre piliers stratégiques du PNA.
- **Les communautés locales** bénéficient d'opportunités concrètes de subsistance grâce à la restauration des mangroves, notamment par la création d'emplois rémunérés, l'amélioration des rendements agricoles et halieutiques et la diversification des sources de revenus. Une participation active et une prise de décision partagée sont essentielles pour garantir une répartition équitable des bénéfices et renforcer la cohésion sociale.



- **Les investisseurs privés et les bailleurs de fonds** peuvent mobiliser plusieurs sources de revenus, allant de l'augmentation de la production agricole et halieutique à la génération de crédits carbone et à la création d'emplois. Les mécanismes de financement fondés sur les résultats et les partenariats public-privé constituent des leviers efficaces pour étendre les efforts de restauration, tout en alignant les incitations financières sur la fourniture de services écosystémiques et le bien-être des communautés.

En alignant les incitations économiques avec la gestion écologique et l'inclusion sociale, la restauration des mangroves dans le Sine Saloum offre un modèle reproductible d'infrastructure fondée sur la nature, capable de protéger les infrastructures, de soutenir les moyens de subsistance et de promouvoir un développement durable à long terme.



Tableau ES2. Tableau récapitulatif de l'analyse coûts-bénéfices intégrée basée sur des scénarios de fréquence des inondations, chiffres en milliards de CFA actualisés à 3,5 %

Réduction des dommages causés aux infrastructures	Réduction des dommages 10 %		Réduction des dommages 7,5 %		Réduction des dommages 5 %		Réduction des dommages 2,5 %	
Fréquence des inondations	Modérée	Sévère	Modérée	Sévère	Modérée	Sévère	Modérée	Sévère
Coûts directs								
Coûts de construction	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Coûts d'exploitation et d'entretien	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37
Coûts totaux	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41
Coûts évités								
Dommages évités aux infrastructures	7,98	19,63	5,98	14,72	3,99	9,82	1,99	4,91
Coûts évités liés à la santé	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Bénéfices supplémentaires								
Revenus de la pêche	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Revenus agricoles	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
Recettes provenant de la pêche	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Approvisionnement en eau potable	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Approvisionnement alimentaire	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Approvisionnement en bois	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Création d'emplois	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42



Réduction des dommages causés aux infrastructures	Réduction des dommages 10 %		Réduction des dommages 7,5 %		Réduction des dommages 5 %		Réduction des dommages 2,5 %	
Séquestration du carbone	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Total des bénéfices et des coûts évités	15,86	27,51	13,86	22,60	11,87	17,69	9,87	12,78
Indicateurs clés de performance								
Valeur actuelle nette (VAN)	11,44	23,09	9,45	18,19	7,45	13,28	5,46	8,37
Rapport bénéfices-coûts (RBC)	3,59	6,23	3,14	5,12	2,69	4,01	2,24	2,90
Taux de rendement interne (TRI)	150 %	303 %	135 %	254 %	118 %	201 %	95 %	14 %

Source : Auteur.

Tableau ES3. Tableau récapitulatif de l'analyse coûts-bénéfices intégrée basée sur les scénarios SSP, chiffres en milliards de CFA actualisés à 3,5 %

	Réduction des dommages 10 %		Réduction des dommages 7,5 %		Réduction des dommages 5 %		Réduction des dommages 2,5 %	
Scénario SSP	SSP5-8,5	SSP3-7,0	SSP5-8,5	SSP3-7,0	SSP5-8,5	SSP3-7,0	SSP5-8,5	SSP3-7,0
Coûts directs								
Coûts de construction	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Coûts d'exploitation et d'entretien	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37
Coûts totaux	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41
Coûts évités								



	Réduction des dommages 10 %		Réduction des dommages 7,5 %		Réduction des dommages 5 %		Réduction des dommages 2,5 %	
Dommages évités aux infrastructures	6,14	9,66	4,61	7,24	3,07	4,83	1,54	2,41
Coûts évités liés à la santé	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Bénéfices supplémentaires								
Revenus de la pêche	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Revenus agricoles	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
Recettes provenant de la pêche	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Approvisionnement en eau potable	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Approvisionnement alimentaire	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Approvisionnement en bois	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Création d'emplois	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
Séquestration du carbone	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Total des bénéfices et des coûts évités	14,02	17,53	12,48	15,12	10,95	12,71	9,41	10,29
Indicateurs clés de performance								
VAN	9,61	13,12	8,07	10,71	6,53	8,29	5,00	5,88
RBC	3,18	3,97	2,83	3,43	2,48	2,88	2,13	2,33
TRI	152 %	199 %	134 %	170 %	113 %	139 %	90 %	104 %

Source : Auteur.



Table des matières

1.0 Introduction	1
1.1 Projet Natur'ELLES.....	1
1.2 Défis environnementaux et socio-économiques dans la région du Sine Saloum.....	2
1.3 Cadre de conservation pour le Sine Saloum	3
1.4 À propos de ce rapport	4
2.0 Évaluation des actifs durables (SAVi)	8
2.1 Pensée systémique	9
2.2 Cartographie des systèmes.....	10
2.3 Analyse des données climatiques	14
2.4 Analyse coûts-bénéfices intégrée	20
3.0 Conclusions.....	35
Références.....	37
Annexe A. Résultats complémentaires	40
Annexe B. Hypothèses de modélisation	48

Liste des tableaux

Tableau ES1. Réduction des dommages aux infrastructures évaluée en fonction de l'efficacité de la protection du projet de restauration des mangroves	v
Tableau ES2. Tableau récapitulatif de l'analyse coûts-bénéfices intégrée basée sur des scénarios de fréquence des inondations, chiffres en milliards de CFA actualisés à 3,5 %	ii
Tableau ES3. Tableau récapitulatif de l'analyse coûts-bénéfices intégrée basée sur les scénarios SSP, chiffres en milliards de CFA actualisés à 3,5 %	iii
Tableau 1. Réduction des dommages aux infrastructures évaluée en fonction de l'efficacité de la protection du projet de restauration des mangroves.....	22
Tableau 2. Liste et définitions des indicateurs de l'analyse coûts-bénéfices.....	23
Tableau 3. Tableau récapitulatif de l'analyse coûts-bénéfices intégrée basée sur des scénarios de fréquence des inondations, chiffres en milliards de CFA actualisés à 3,5 %.	27
Tableau 4. Tableau récapitulatif de l'analyse coûts-bénéfices intégrée basée sur les scénarios SSP, chiffres en milliards de CFA actualisés à 3,5 %	28
Tableau 5. Composition des bénéfices supplémentaires et des coûts évités pour les femmes	34
Tableau A1. Paramètres des scénarios d'inondations.....	44



Liste des figures

Figure ES1. Mangroves au Sénégal	iv
Figure 1. Visites sur le site de Palmarin	5
Figure 2. Atelier sur les diagrammes de boucles causales	6
Figure 3. Méthodologie d'évaluation des actifs durables	8
Figure 4. Diagramme des boucles causales des régions de Casamance et du Sine Saloum	11
Figure 5. Percentile de sécheresse extrême	16
Figure 6. Percentile des précipitations extrêmes	17
Figure 7. Température mensuelle moyenne	18
Figure 8. Précipitations moyennes (2000–2020)	19
Figure 9. Précipitations moyennes (2040–2060)	19
Figure 10. Efficacité de la protection avec une réduction de 2,5 % à 10 % des dommages causés aux infrastructures	22
Figure 11. Répartition des bénéfices (à l'exclusion des coûts évités liés aux dommages causés aux infrastructures)	30
Figure 12. Composition des bénéfices supplémentaires et des coûts évités pour les femmes	34
Figure A1. Carte de la couverture terrestre	40
Figure A2. Zone d'étude	41
Figure A3. Zone à risque d'inondation	41
Figure A4. Zone de qualité de l'habitat	42
Figure A5. Zone d'exportation des sédiments	43
Figure A6. Zone du modèle de refroidissement	43
Figure A7. Valeur actuelle nette selon différents scénarios d'inondation, en milliards de CFA	45
Figure A8. Valeur actuelle nette selon les scénarios climatiques SSP5-8,5 et SSP3-7,0, valeurs en milliards de CFA	45
Figure A9. Rapport bénéfices-coûts dans différents scénarios d'inondation, valeurs en milliards de CFA	46
Figure A10. Rapport bénéfices-coûts dans les scénarios SSP, valeurs en milliards de CFA ...	46
Figure A11. Répartition des bénéfices (à l'exclusion des coûts évités liés aux dommages aux infrastructures), valeurs en milliards de CFA	47
Figure A12. Bénéfices totaux pour les femmes par rapport aux bénéfices totaux (valeurs globales), valeurs en milliards de CFA	47
Figure B1. Bâtiments publics	50
Figure B2. Réduction des dommages causés par les inondations aux infrastructures	51
Figure B3. Bâtiments résidentiels	52



Figure B4. Réduction des dommages causés par les inondations aux infrastructures	52
Figure B5. Routes.....	53
Figure B6. Réduction des dommages causés par les inondations aux infrastructures	54

Liste des encadrés

Encadré 1. Lecture d'un CLD	11
-----------------------------------	----



Glossaire

Actualisation	Technique financière utilisée pour ajuster la valeur des coûts ou bénéfices futurs à leur valeur actuelle, reflétant la valeur temporelle de l'argent. Elle consiste à appliquer un taux d'actualisation aux flux de trésorerie futurs afin de déterminer leur valeur actuelle, ce qui facilite les comparaisons et la prise de décision entre différentes périodes. L'actualisation permet aux analystes de tenir compte du coût d'opportunité du capital et de la préférence pour recevoir des bénéfices le plus tôt possible.
AMP (Aire marine protégée)	Zone marine et côtière bénéficiant d'un statut de protection et de gestion visant à conserver la biodiversité, les habitats et les ressources naturelles.
Analyse différenciée selon le genre	Approche qui examine comment les coûts, bénéfices, risques et opportunités d'un projet se répartissent différemment entre les femmes et les hommes. Dans ce rapport, elle sert à estimer la part des bénéfices captée par les femmes.
APAC (Aire du patrimoine communautaire)	Espace conservé et géré par les communautés locales sur la base de leurs pratiques, savoirs et institutions coutumiers, avec un rôle important dans la gouvernance locale des ressources naturelles.
Bénéfices nets	Montant cumulé des bénéfices monétaires accumulés dans tous les secteurs et par tous les acteurs pendant la durée de vie des investissements par rapport au scénario de référence, tel que rapporté par le scénario d'intervention.
Boucle de rétroaction	Chaîne d'effets dans laquelle une variable influence d'autres variables, qui finissent par agir en retour sur la variable initiale. Une boucle peut être renforçante si elle amplifie le changement, ou équilibrante si elle le freine.
CAPEX (dépenses d'investissement)	Coûts initiaux de mise en œuvre du projet, par exemple les dépenses de restauration et de plantation des mangroves.
Coût social du carbone	Valeur monétaire attribuée aux dommages évités ou bénéfices associés à l'évitement d'une tonne supplémentaire de CO ₂ dans l'atmosphère. Dans ce rapport, ce concept est utilisé pour monétiser la séquestration du carbone par les mangroves.
Estuaire inversé	Système estuarien dans lequel l'intrusion de l'eau de mer vers l'amont est favorisée par une forte évaporation, de faibles apports en eau douce et une circulation hydrologique limitée, ce qui accroît la salinité. C'est une notion importante pour comprendre le fonctionnement du Sine Saloum.



Externalités	Effets indirects, positifs ou négatifs, d'un projet sur la société, l'économie ou l'environnement, qui ne sont pas toujours pris en compte dans les évaluations financières classiques. Dans l'approche SAVi, ces externalités sont intégrées autant que possible dans l'analyse économique.
Franc CFA	Monnaie officielle de huit pays d'Afrique de l'Ouest, dont le Sénégal. Émis par la Banque centrale des États de l'Afrique de l'Ouest (BCEAO), il est officiellement appelé franc CFA ouest-africain. À l'origine, CFA signifiait Communauté financière africaine.
Indicateur	Paramètre présentant un intérêt pour une ou plusieurs parties prenantes qui fournit des informations sur l'évolution des variables clés du système au fil du temps et sur les tendances qui se dessinent dans des conditions spécifiques (PNUE, 2014).
Infrastructure fondée sur la nature (IFN)	Ensemble d'interventions de protection, de restauration ou de gestion durable des écosystèmes naturelles visant à fournir des services utiles aux populations et aux activités économiques, tout en renforçant la résilience climatique, la biodiversité et le bien-être humain. Contrairement aux infrastructures grises, les infrastructures fondées sur la nature s'appuient sur les fonctions écologiques des milieux naturels — par exemple les mangroves, zones humides, forêts ou dunes — pour réduire les risques, améliorer les moyens de subsistance et générer des co-bénéfices environnementaux et sociaux.
Méthodologie	Approche(s) théorique(s) utilisée(s) pour le développement de différents types d'outils d'analyse et de modèles de simulation. Cet ensemble de connaissances décrit à la fois les hypothèses sous-jacentes utilisées et les instruments qualitatifs et quantitatifs pour la collecte de données et l'estimation des paramètres (PNUE, 2014).
OPEX (dépenses d'exploitation et d'entretien)	Coûts récurrents nécessaires au fonctionnement, à la gestion et à l'entretien du projet au fil du temps, par exemple la surveillance, l'entretien et la gestion communautaire.
Période de retour	Mesure statistique indiquant la fréquence moyenne attendue d'un événement extrême d'une certaine intensité, par exemple une inondation « 1 fois tous les 30 ans ».
PNA / PNAZC	Le Plan national d'adaptation (PNA) et le Plan national d'adaptation pour la zone côtière (PNAZC) désignent les cadres stratégiques du Sénégal pour renforcer la résilience climatique, notamment dans les zones littorales.



Rapport bénéfices-coûts (RBC)	Indicateur qui mesure l'efficacité d'un investissement en comparant l'ensemble des bénéfices économiques, y compris les externalités, aux coûts économiques associés à un projet ou à une initiative sur une période donnée. Il offre une appréciation globale de la viabilité économique de l'investissement en intégrant les impacts élargis au-delà des seuls rendements financiers directs.
Régime d'inondation	Ensemble d'hypothèses décrivant la fréquence et l'intensité des inondations dans le modèle. Le rapport distingue notamment un régime modéré et un régime sévère.
Résilience	Capacité d'un écosystème, d'une communauté ou d'un système socio-économique à absorber des perturbations, à s'adapter et à continuer à fonctionner malgré les chocs, notamment climatiques.
Scénario de référence	Situation de statu quo utilisée comme point de comparaison dans l'analyse. Il représente l'évolution probable du système en l'absence d'intervention du projet.
Scénario IFN	Scénario d'intervention intégrant les effets attendus des infrastructures fondées sur la nature, ici la restauration et la conservation des mangroves, sur les coûts évités et les bénéfices socio-économiques et environnementaux.
Scénarios	Prévisions concernant des événements futurs possibles utilisées pour analyser les réponses potentielles à ces développements nouveaux et à venir. Par conséquent, l'analyse de scénarios est un exercice spéculatif dans lequel plusieurs alternatives de développement futur sont identifiées, expliquées et analysées afin de discuter de leurs causes possibles et des conséquences que ces voies futures pourraient avoir sur notre système (par exemple, un pays ou une entreprise).
Services écosystémiques	Bénéfices que les écosystèmes procurent aux populations et aux activités économiques. Dans ce rapport, ils incluent notamment la protection contre les inondations, la séquestration du carbone, l'amélioration de la qualité de l'eau, l'approvisionnement en bois, la production alimentaire et le soutien à la pêche.
Taux de rendement interne (TRI)	Taux d'actualisation qui rend la valeur actuelle nette (VAN) des bénéfices économiques (y compris les externalités) d'un projet ou d'une initiative égale à zéro. Il indique le taux de rendement auquel les bénéfices économiques du projet équilibrent ses coûts, en tenant compte de tous les impacts économiques.



Valeur actuelle nette (VAN)	Différence entre la valeur actuelle des bénéfices économiques (y compris les externalités) et la valeur actuelle des coûts économiques associés à un projet ou à une initiative pendant toute sa durée de vie. Elle quantifie l'impact monétaire net des aspects économiques du projet, en tenant compte de tous les coûts et bénéfices pertinents.
Validation du modèle	Processus consistant à évaluer dans quelle mesure le comportement du modèle (c'est-à-dire les résultats numériques) est cohérent avec le comportement observé dans la réalité (c'est-à-dire les statistiques nationales, les bases de données établies) et à évaluer si la structure du modèle développé (c'est-à-dire les équations) est acceptable pour saisir les mécanismes sous-jacents du système étudié (PNUE, 2014).



1.0 Introduction

1.1 Projet Natur'ELLES

Ce rapport s'inscrit dans le cadre du projet Natur'ELLES – Préservation des écosystèmes de mangroves et renforcement du leadership des femmes dans la gestion des ressources naturelles – dont l'objectif est d'améliorer les conditions de vie des communautés vulnérables, en particulier pour les femmes fortement dépendantes des ressources naturelles au sein des écosystèmes de mangroves du delta du Sine Saloum et de la Casamance, au Sénégal. Pour atteindre cet objectif, le projet vise à renforcer la biodiversité de ces écosystèmes, à promouvoir une gouvernance plus inclusive des ressources naturelles et à accroître les bénéfices issus des efforts de conservation. En s'appuyant sur des infrastructures fondées sur la nature et des approches communautaires, le projet contribue au renforcement des services écosystémiques essentiels fournis par les mangroves, réduisant ainsi la vulnérabilité des populations et soutenant l'adaptation des communautés côtières aux changements climatiques (PMO-Natur'ELLES).

Le projet Natur'ELLES est une initiative d'adaptation aux changements climatiques d'une durée de quatre ans (mars 2023 – mars 2027), financée par Affaires mondiales Canada. Il est mis en œuvre sous la direction de SOCODEVI, en collaboration avec les partenaires internationaux UICN, IISD et Tayo Climate Partners (PMO-Natur'ELLES).

Le projet s'inscrit dans un contexte de dégradation marquée des mangroves, dont la superficie, estimée à environ 180 000 hectares dans le Sine Saloum et 752 900 hectares en Casamance, a diminué d'environ 35 % depuis les années 1980. Ce déclin résulte à la fois des effets des changements climatiques et des pressions anthropiques. Pourtant, ces écosystèmes figurent parmi les zones de plus forte biodiversité, abritant notamment 186 espèces végétales, 95 espèces d'oiseaux et de nombreuses espèces menacées. Ils fournissent par ailleurs des services écosystémiques essentiels tels que la protection du littoral, la séquestration du carbone et le soutien à la pêche artisanale (PMO-Natur'ELLES).

Doté d'un budget total de 20 millions de dollars canadiens financé par Affaires mondiales Canada, le projet Natur'ELLES cible 8 000 bénéficiaires, dont au moins 5 600 femmes et jeunes femmes vulnérables, répartis dans 123 villages situés au sein des Aires du patrimoine communautaire (APAC) et du Réseau des aires marines protégées (AMP). Le projet s'articule autour de trois axes stratégiques principaux :

1. Renforcer l'adoption d'infrastructures fondées sur la nature pour la conservation et la restauration des mangroves.
2. Améliorer la gouvernance inclusive des ressources naturelles.
3. Accroître les retombées économiques des services écosystémiques au bénéfice des communautés vulnérables face aux changements climatiques (PMO-Natur'ELLES).

L'initiative s'appuie sur un réseau de quatre AMP et cinq APAC, au sein desquelles sont mises en œuvre des solutions fondées sur la nature combinant les savoirs écologiques



traditionnels et des approches innovantes de restauration des mangroves, de gestion durable des pêches et d'autonomisation économique des femmes.

Dans ce cadre, l'IISD a appliqué la méthodologie d'évaluation des actifs durables (SAVi) afin d'analyser les services écosystémiques générés par la restauration et la conservation des forêts de mangroves dans le Sine Saloum. Cette évaluation ainsi que le présent rapport visent à appuyer des décisions d'investissement basées sur des données probantes en faveur des infrastructures fondées sur la nature (PMO-Natur'ELLES).

1.2 Défis environnementaux et socio-économiques dans la région du Sine Saloum

Le delta du Sine Saloum, situé dans le centre-ouest du Sénégal, entre la ville de Joal-Fadiouth au nord et l'océan Atlantique à l'ouest, constitue une région d'une importance écologique, culturelle et économique exceptionnelle. Il fait partie de la Réserve de biosphère du delta du Saloum, classée par l'UNESCO et reconnue pour la richesse de ses écosystèmes tropicaux de mangroves et sa biodiversité, qui soutiennent les moyens de subsistance de plus de 100 000 personnes (WIACO, 2025). Couvrant environ 232 500 hectares, dont près de 58 300 hectares de mangroves, le delta est composé de nombreuses îles, de bras de mer (*bolongs*) et de zones humides qui, ensemble, forment un environnement estuarien unique (WIACO, 2025).

En tant qu'estuaire inversé, la région est caractérisée par une remontée progressive de l'eau de mer vers l'amont. Ce phénomène est principalement lié à une forte évaporation, à de faibles apports en eau douce et à une circulation hydrologique limitée. Il entraîne une augmentation de la salinité des eaux et des sols, ce qui fragilise les écosystèmes locaux et réduit la productivité des terres agricoles.

Cette dynamique accentue plusieurs pressions environnementales majeures, notamment la salinisation, l'érosion côtière, la dégradation des mangroves et la perte d'habitats naturels. Ces impacts touchent directement les moyens de subsistance des communautés locales, en particulier l'agriculture, la pêche, la récolte des produits forestiers et les activités dépendantes des zones humides.

Ces pressions sont aggravées par des pratiques d'extraction des ressources telles que la récolte du bois de mangrove pour la cuisson domestique et la transformation du poisson, l'expansion agricole, en particulier la riziculture, ainsi que l'insuffisance des infrastructures de gestion des déchets. Pris ensemble, ces facteurs traduisent des défis systémiques plus larges, notamment l'accès limité à des sources d'énergie alternatives, les contraintes économiques pesant sur les moyens de subsistance ruraux et le sous-investissement chronique dans la gestion durable des ressources, qui menacent l'équilibre écologique du delta (WIACO, 2025).

Les femmes de la région du Sine Saloum sont confrontées à de multiples vulnérabilités socio-économiques, liées à leur forte dépendance aux activités fondées sur les ressources naturelles pour générer des revenus. Leur stabilité économique repose largement sur la pêche et la récolte de mollusques, en particulier les huîtres, qui constituent une source de revenus



essentielle. Au-delà des ressources aquatiques, les femmes jouent un rôle clé dans la valorisation des produits forestiers non ligneux issus des mangroves, notamment le miel, les fruits, les plantes médicinales et le bois de chauffage. Ces activités contribuent de manière significative aux moyens de subsistance locaux et aux revenus des ménages. Le maraîchage représente souvent l'activité principale de subsistance des femmes, tandis que la pêche, la récolte d'huîtres et la collecte du bois de mangrove servent fréquemment d'activités génératrices de revenus complémentaires, notamment en période de crise ou de stress économique saisonnier (PMO-Natur'ELLES).

Ce rapport fondé sur la méthodologie SAVi met en évidence les bénéfices substantiels que les initiatives de restauration des mangroves peuvent apporter aux femmes du Sine Saloum. Au-delà de leur contribution à l'atténuation des changements climatiques et à la conservation de la biodiversité, ces initiatives constituent de puissants leviers d'autonomisation sociale et économique pour les femmes, qui occupent une place centrale dans la gestion durable des écosystèmes de mangroves.

Compte tenu de l'interdépendance des défis écologiques et socio-économiques auxquels le delta du Sine Saloum est confronté, il est essentiel d'intégrer la restauration des écosystèmes à des stratégies de gestion communautaire durable. De telles approches sont indispensables pour préserver les mangroves, renforcer la résilience face aux changements climatiques et améliorer durablement le bien-être des populations qui dépendent de ces ressources naturelles vitales (WIACO, 2025).

1.3 Cadre de conservation pour le Sine Saloum

Le gouvernement sénégalais a engagé des actions importantes pour répondre aux défis écologiques et socio-économiques de la région, notamment par le développement d'un vaste réseau d'aires protégées visant à préserver les écosystèmes clés tout en soutenant les moyens de subsistance locaux. La région se distingue par la présence de sites de conservation reconnus à l'échelle internationale, en particulier le Parc national du delta du Saloum, créé en 1976 et couvrant environ 76 000 hectares. En 1981, ce territoire a été désigné réserve de biosphère, étendant sa superficie protégée à 408 906 hectares et renforçant son importance écologique aux niveaux national et mondial (PMO-Natur'ELLES).

La région bénéficie également de la mise en place de dispositifs de conservation spécialisés tels que le Réseau des aires marines protégées (AMP), qui assure une protection renforcée des habitats marins et côtiers, et les Aires du patrimoine communautaire (APAC), conçues pour renforcer le rôle des communautés locales dans la gestion et l'administration des ressources naturelles. Parmi ces initiatives figure la Réserve naturelle communautaire de Palmarin, créée en 2001 et couvrant 10 480 hectares, qui constitue un refuge essentiel pour la biodiversité régionale et un modèle de référence en matière de conservation participative (PMO-Natur'ELLES).

Ce cadre de conservation est renforcé par la présence d'un site Ramsar, désigné en 1984, qui reconnaît le rôle crucial du delta en tant que zone humide d'importance internationale. Par ailleurs, la Zone importante pour la conservation des oiseaux (ZICO) met en évidence le rôle



du territoire comme habitat clé pour les espèces aviaires, reliant les efforts de conservation locaux aux réseaux mondiaux de protection des oiseaux migrateurs (PMO-Natur'ELLES).

La gouvernance communautaire au sein du système des aires protégées fait l'objet d'une reconnaissance et d'un appui croissants au niveau international. L'UICN soutient activement les initiatives des APAC en promouvant des approches de gestion inclusive des écosystèmes, fondées sur les traditions, les savoirs coutumiers, la spiritualité et les pratiques socioculturelles des populations locales. Ces démarches visent à garantir une gestion équitable des ressources et une santé écologique durable, tout en valorisant les connaissances et les expériences des communautés autochtones et locales (PMO-Natur'ELLES).

L'importance des APAC a été réaffirmée lors du Congrès de Kigali sur les aires protégées africaines en juillet 2022, qui a souligné les droits des peuples autochtones et des communautés locales à participer pleinement à la gouvernance des aires protégées. Bien que les APAC ne soient pas encore formellement reconnues par la législation sénégalaise en vigueur, elles s'imposent de plus en plus comme des acteurs essentiels de la conservation de la biodiversité, du renforcement de la résilience et de l'adaptation des communautés côtières aux effets des changements climatiques (PMO-Natur'ELLES).

Le Plan national d'adaptation pour la zone côtière (PNAZC) du Sénégal vient compléter et renforcer les initiatives de conservation mises en œuvre dans la région du Sine Saloum. Élaboré à l'issue d'un processus de diagnostic national approfondi, le PNAZC identifie les principales options d'adaptation destinées à renforcer la résilience des écosystèmes côtiers, des communautés et des infrastructures face aux impacts des changements climatiques (MEDD, 2022).

Le plan repose sur quatre piliers stratégiques : (1) l'amélioration de la protection du littoral et de l'aménagement du territoire, (2) le renforcement de la capacité d'adaptation des communautés côtières, (3) l'amélioration de la gouvernance, et (4) le renforcement du partage des connaissances et de l'information sur les impacts climatiques. En promouvant une gestion intégrée du littoral, le PNAZC offre un cadre cohérent qui aligne les politiques nationales avec les efforts de conservation locaux. L'accent mis sur les solutions fondées sur les écosystèmes, sur les mesures de protection physique et non physique ainsi que sur la gouvernance participative soutient directement la durabilité à long terme des écosystèmes du delta. L'intégration de ces priorités nationales aux initiatives communautaires de conservation dans le Sine Saloum est essentielle pour garantir que la protection de la biodiversité contribue efficacement au renforcement de la résilience climatique, tout en préservant à la fois les habitats naturels et les moyens de subsistance locaux face aux pressions climatiques croissantes (MEDD, 2022).

1.4 À propos de ce rapport

Ce rapport constitue le volet consacré au Sine Saloum d'une évaluation en deux parties de la valeur des actifs durables (SAVi) appliquée à la restauration des mangroves au Sénégal. (Rapport SAVi - Casamance). Le présent document se concentre spécifiquement sur le Sine



Saloum et analyse quatre zones protégées dans lesquelles des interventions de restauration et de conservation sont prévues :

- **AMP de Sokone** : 22 villages, environ 16 000 habitants
- **AMP de Bamboung** : 13 villages, 20 398 habitants
- **APAC de Djilor Djidiack** : un village, 1 053 habitants
- **Réserve naturelle communautaire de Palmarin** : cinq villages, 10 400 habitants

Au total, le projet prévoit le reboisement de 172 hectares de mangroves dégradées et la conservation de 16 900 hectares de forêts de mangroves existantes sur ces quatre sites. Si environ 47 851 personnes résident directement dans ces zones protégées, le rapport examine également les impacts potentiels à une échelle plus large, notamment dans les départements de Foundiougne et de Fatick, qui comptent respectivement 375 388 habitants (CityPopulation, 2023) et 908 858 habitants (ANSD, n.d.). Cette approche reconnaît que l'amélioration des services écosystémiques fournis par les mangroves bénéficie aux communautés côtières bien au-delà des limites immédiates du projet.

Afin d'éclairer les décisions publiques et les choix d'investissement, ce rapport applique la méthodologie SAVi pour quantifier et monétiser l'ensemble des bénéfices et des coûts évités associés à la restauration des mangroves dans le Sine Saloum. Cette méthodologie combine la cartographie des systèmes, des projections climatiques localisées, des analyses spatiales de la couverture terrestre et une modélisation économique sous Excel. Ces approches convergent vers une analyse coûts-bénéfices (ACB) détaillée, reposant sur des indicateurs clés de performance tels que le rapport bénéfices-coûts, la valeur actuelle nette (VAN) et le taux de rendement interne (TRI).

Figure 1. Visites sur le site de Palmarin



Source : Institut international du développement durable (IISD).

Figure 2. Atelier sur les diagrammes de boucles causales



Source : IISD.

Cette analyse est le résultat d'une collaboration étroite entre les partenaires de Natur'ELLES, notamment SOCODEVI, l'UICN, Tayo Climate Partners, Nébédjay, CASADES, CAREM et Refepas, et s'appuie sur des données de terrain collectées par SOCODEVI. Les visites réalisées à la Réserve naturelle communautaire de Palmarin, à l'APAC de Djilor Djidiack et aux AMP de Sokone et de Bamboung ont fourni des informations de première main essentielles sur l'état des mangroves, les moyens de subsistance locaux et les dispositifs de gouvernance. Les échanges directs avec les gestionnaires des réserves ont permis d'ajuster les modèles afin qu'ils reflètent fidèlement les réalités locales.

Un atelier participatif organisé à Palmarin a réuni 24 parties prenantes (17 hommes et 7 femmes) représentant des ONG, des universitaires, des leaders communautaires, des associations de femmes, des coopératives de pêcheurs et des agriculteurs. Cette démarche participative a permis de co-construire et de valider les hypothèses de modélisation, tout en intégrant les contributions des acteurs locaux concernant les contraintes saisonnières, les pratiques informelles de gouvernance des ressources et les menaces émergentes. Le travail de terrain a ainsi permis de capturer les dynamiques spécifiques à la région et de garantir que l'évaluation SAVi reflète les priorités communautaires, notamment en matière de partage équitable des bénéfices et d'autonomisation des femmes.

En intégrant les perspectives des parties prenantes à la modélisation quantitative, les résultats de l'analyse SAVi démontrent comment la restauration des mangroves dans le Sine Saloum peut renforcer la résilience côtière, soutenir des moyens de subsistance durables — en particulier pour les femmes et les groupes vulnérables — et contribuer à la réalisation des objectifs d'adaptation aux changements climatiques à l'échelle de l'ensemble du système deltaïque.

Ce rapport est structuré de manière à fournir une analyse cohérente des bénéfices potentiels de la restauration des mangroves dans le Sine Saloum.



Il commence par présenter la méthodologie SAVi, qui intègre des évaluations sociales, économiques et environnementales afin d'évaluer les résultats des investissements dans les infrastructures naturelles (section 2). Sur cette base, le rapport souligne l'importance de la pensée systémique, en montrant comment cette approche peut être utilisée pour saisir l'interconnexion des systèmes naturels, sociaux et économiques dans le Sine Saloum (section 2.1).

Pour illustrer ce concept dans la pratique, une carte du système, élaborée en collaboration avec les parties prenantes locales du Sine Saloum, est présentée. Elle met en évidence les relations clés et les boucles de rétroaction qui influent sur les écosystèmes de mangroves, les activités économiques, les événements dangereux et la santé (section 2.2).

Cette carte est suivie d'une analyse des données climatiques locales, notamment des phénomènes météorologiques extrêmes, des fluctuations de température et des tendances en matière de précipitations, qui permet de comprendre les risques climatiques de la région (section 2.3).

Le rapport se poursuit ensuite par une analyse coûts-bénéfices intégrée, détaillant la méthodologie, les scénarios, les indicateurs et les résultats, et fournissant une évaluation complète de l'impact des IFN selon les scénarios de changements climatiques et de risques d'inondation (section 2.4).

Dans la conclusion, les principales conclusions sont résumées (section 3), et des résultats détaillés supplémentaires ainsi que les hypothèses de modélisation sont fournis en annexe. Ensemble, ces sections forment un récit cohérent qui s'appuie sur des approches théoriques pour aboutir à des évaluations pratiques de la restauration des mangroves dans le Sine Saloum.

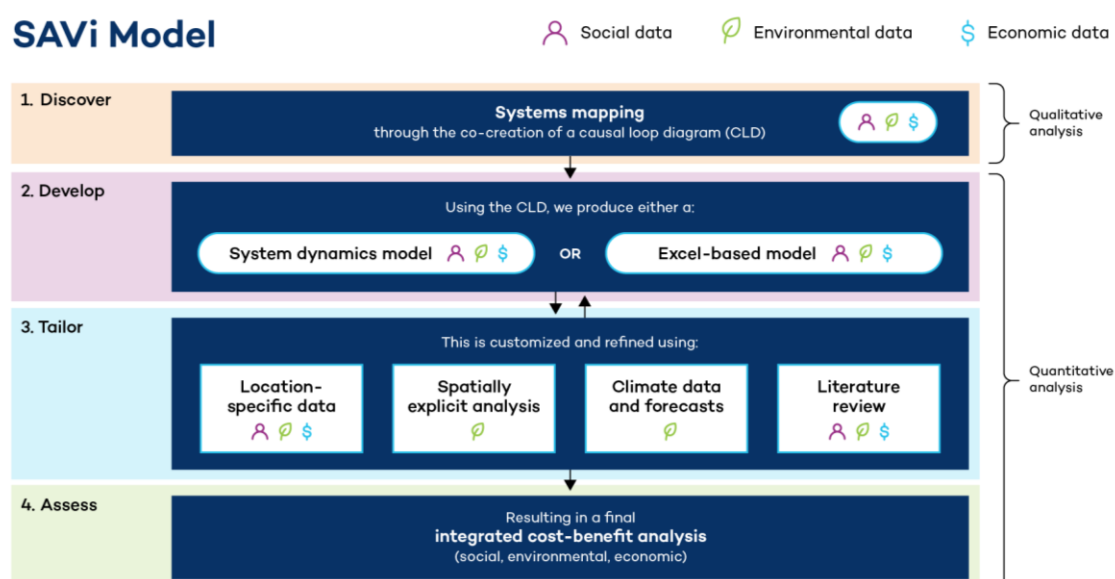


2.0 Évaluation des actifs durables (SAVi)

Ce chapitre présente la méthodologie et les principaux résultats de l'évaluation de la valeur des actifs durables, telle qu'illustrée à la figure 3. Il débute par la mise en contexte des interventions à travers l'application de la pensée systémique et de la cartographie des systèmes, permettant de situer les actions envisagées dans une perspective plus large. Sur la base de ce cadre qualitatif, le chapitre intègre ensuite des méthodes quantitatives, notamment des projections de scénarios climatiques et une analyse coûts-bénéfices (ACB) complète, afin d'évaluer les effets à long terme des interventions proposées. Cette approche intégrée permet une analyse approfondie des impacts immédiats et futurs de la restauration des mangroves dans le Sine Saloum.

La SAVi est une méthodologie d'évaluation conçue pour fournir aux décideurs publics et aux investisseurs une analyse détaillée du cycle de vie des projets d'infrastructures fondées sur la nature. Elle prend en compte les impacts sociaux, environnementaux et économiques souvent sous-estimés ou omis dans les évaluations de projets conventionnelles. En combinant la pensée systémique à une gamme d'outils de modélisation quantitative, la SAVi intègre l'ensemble des coûts et des bénéfices, y compris les risques environnementaux, sociaux, économiques et de gouvernance. Elle permet en outre de monétiser les externalités, offrant ainsi une évaluation plus complète et holistique des projets. Cette approche globale soutient des décisions d'investissement alignées sur les objectifs de développement régional, les stratégies d'adaptation aux changements climatiques et les Objectifs de développement durable (ODD) des Nations unies, garantissant des résultats à la fois économiquement viables et durables à long terme.

Figure 3. Méthodologie d'évaluation des actifs durables



Source : IISD.



2.1 Pensée systémique

La pensée systémique offre aux décideurs un cadre d'analyse global mettant en lumière les interconnexions entre les dimensions sociales, environnementales et économiques (Meadows & Wright, 2011 ; Sanneh, 2018 ; Stroh, 2015). Plutôt que de privilégier des solutions linéaires ou à court terme, elle favorise une compréhension approfondie de la manière dont les différents éléments interagissent dans le temps, révélant à la fois des synergies et des compromis (Sterman, 2000). En se concentrant sur ces interrelations, la pensée systémique permet d'identifier les causes profondes des problèmes et de concevoir des interventions inscrites dans des stratégies de long terme (Jackson, 2019). Elle clarifie également les réseaux complexes de causalité, facilitant ainsi l'identification des conséquences imprévues, notamment celles liées à des solutions temporaires susceptibles d'aggraver les problèmes à plus long terme (Moallemi et al., 2022). Cette approche combine une compréhension qualitative des systèmes avec des modèles quantitatifs, offrant à la fois clarté et rigueur analytique (Probst & Bassi, 2014).

Appliquée aux enjeux de durabilité, la pensée systémique élargit l'analyse au-delà des préoccupations immédiates (Voulvoulis et al., 2022). Chaque décision dépasse alors le cadre d'une action ponctuelle pour devenir un levier potentiel de transformation durable. Maintenir un équilibre entre les besoins présents et les résultats futurs implique de dépasser les cloisonnements traditionnels et de relier les secteurs, les disciplines et les échelles temporelles. Les défis ne se manifestent pas de manière isolée, et les solutions durables nécessitent une collaboration étroite entre les acteurs. La pensée systémique soutient cette vision intégrée en favorisant la coopération transversale indispensable à la résolution des problèmes complexes contemporains (Senge, 2006).

Concrètement, la pensée systémique agit à la fois comme un guide et comme un garde-fou pour les décideurs. Elle permet de cartographier les relations de causalité entre les actions et leurs effets, en mettant en évidence des boucles de rétroaction et des dynamiques comportementales qui resteraient autrement invisibles. Cette perspective élargie contribue à éviter les décisions à courte vue susceptibles de générer des impacts négatifs à long terme, en réorientant l'action publique vers le renforcement de la résilience des systèmes plutôt que vers des solutions isolées (Chroust & Finlayson, 2016). Les décisions ne se limitent plus au traitement de symptômes immédiats, mais visent à établir des cadres favorisant la durabilité, l'équité et la capacité d'adaptation à long terme. En définitive, la pensée systémique rappelle que chaque action s'inscrit dans un réseau interconnecté qui s'étend dans le temps et dans l'espace, permettant aux décideurs d'élaborer des stratégies répondant aux défis urgents tout en renforçant la résilience et la prospérité futures des systèmes.

Appliquée au delta du Sine Saloum, la pensée systémique permet de développer une vision de long terme dans laquelle les actions immédiates, telles que la restauration des mangroves, sont envisagées comme des composantes intégrales d'une stratégie globale visant à rétablir l'équilibre écologique et à promouvoir un développement durable. La restauration des mangroves ne se limite pas au renforcement de la protection côtière ; elle contribue également à accroître la résilience des écosystèmes capables de fournir des services essentiels, notamment la régulation de la salinité de l'eau, le soutien à la reproduction des poissons et le maintien des moyens de subsistance des communautés locales.



La dynamique complexe illustrée par le diagramme de boucles causales met en évidence la manière dont des changements localisés peuvent entraîner des effets en cascade à l'échelle de l'ensemble du système. La croissance démographique et l'augmentation de la demande en bois et en terres agricoles contribuent à la dégradation des mangroves, ce qui compromet la régénération des stocks halieutiques et accentue l'érosion côtière. Par ailleurs, l'élévation du niveau de la mer, la diminution de la disponibilité en eau douce et l'augmentation des taux d'évaporation perturbent l'équilibre fragile de la salinité de l'eau, accentuant le stress subi par les écosystèmes de mangroves et par les communautés qui en dépendent. Face à ces défis interdépendants, la pensée systémique souligne la nécessité d'une planification holistique intégrant étroitement les dimensions environnementales, sociales et économiques.

2.2 Cartographie des systèmes

Une manière efficace d'appliquer la pensée systémique consiste à synthétiser les différentes composantes d'un système et leurs interactions à travers un processus appelé cartographie des systèmes. La cartographie des systèmes est une méthode à la fois collaborative et analytique, utilisée pour visualiser et comprendre les éléments constitutifs d'un système complexe ainsi que les interconnexions qui les relient. Cette approche répond à plusieurs objectifs, notamment l'analyse du fonctionnement global d'un système et l'identification d'interventions potentielles susceptibles d'en améliorer les performances (Barbrook-Johnson & Penn, 2022).

Dans le cadre de cette évaluation SAVi, une cartographie des systèmes, représentée par un diagramme de boucles causales (CLD), a été élaborée pour les régions du Sine Saloum et de la Casamance (figure 6), compte tenu de la similarité des dynamiques socio-écologiques observées dans ces deux territoires. Le CLD analyse les principales variables du système, leurs relations de cause à effet et les boucles de rétroaction qui façonnent les comportements observés. Il a été développé à travers un processus itératif d'ateliers participatifs et de consultations avec les communautés locales, afin de saisir les dynamiques propres à chaque région.

Ce processus comprenait trois visites de terrain dans les zones de mangroves ainsi que trois ateliers communautaires. Les participants représentaient un large éventail d'acteurs, notamment des ONG, des représentants d'associations de pêcheurs, des agriculteurs, des associations de femmes, des autorités municipales, des universitaires et des leaders communautaires. Au total, 31 participants ont pris part aux ateliers à Kafountine (25 hommes et 6 femmes), 29 à Baïla (18 hommes et 11 femmes) et 24 à Palmarin (17 hommes et 7 femmes).

Les résultats de ce processus ont donné lieu à une analyse qualitative approfondie, permettant de recueillir les connaissances locales, de valider le diagramme de boucles causales et d'identifier les valeurs et priorités des parties prenantes. Par ailleurs, cette démarche a permis de préciser les besoins en matière d'analyse quantitative, notamment en ce qui concerne les données, les cartes et les indicateurs nécessaires à la réalisation de l'analyse coûts-bénéfices intégrée. Cette approche participative et itérative garantit que la cartographie du système reflète fidèlement les dynamiques socio-écologiques complexes



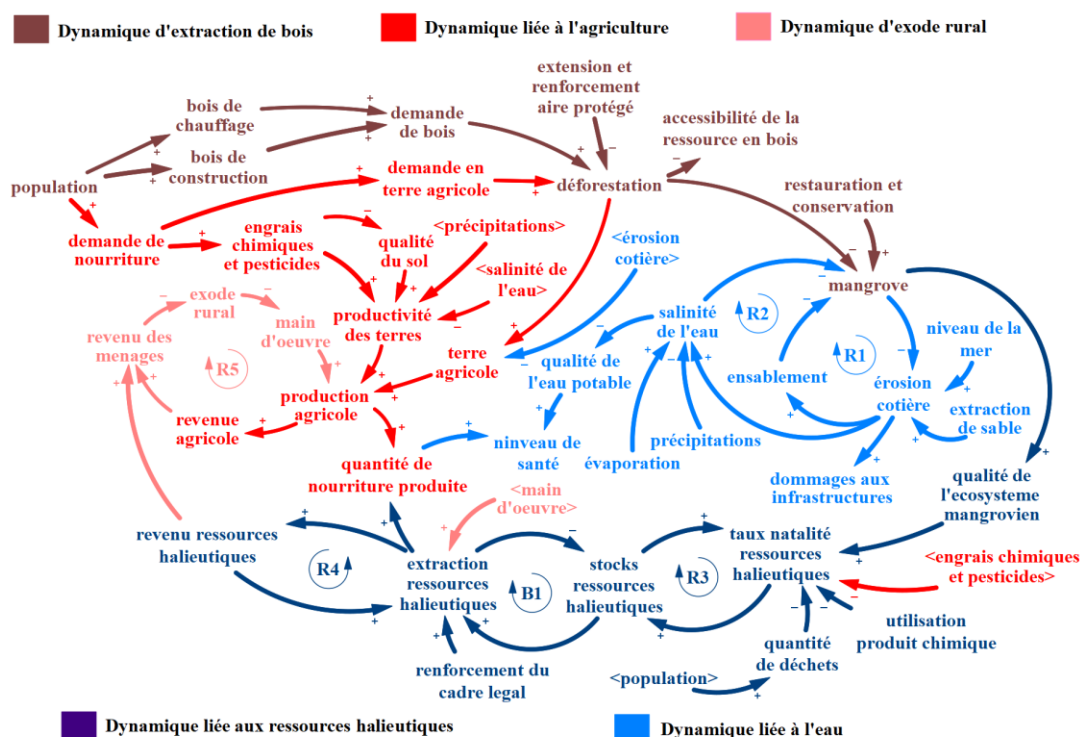
influençant la conservation et la restauration des mangroves dans les deux régions, constituant ainsi une base solide pour les évaluations quantitatives ultérieures.

Comme indiqué précédemment, la méthodologie SAVi vise à fournir aux décideurs des éléments probants à la fois qualitatifs et quantitatifs. Les connaissances issues de la cartographie des systèmes constituent le socle de l'analyse quantitative présentée dans les sections suivantes. Plus précisément, les composantes et les relations mises en évidence par le CLD sont étroitement alignées sur les indicateurs quantifiés dans l'analyse coûts-bénéfices intégrée. Pour faciliter la lecture et l'interprétation du CLD, il est recommandé de se référer au code couleur du diagramme tout au long du récit analytique.

Encadré 1. Lecture d'un CLD

Un diagramme de boucles causales (CLD) est un outil qui favorise la pensée systémique. Il montre les relations entre les composantes d'un système. Les flèches indiquent la causalité et les signes plus et moins sont utilisés pour montrer la direction de la causalité. Un signe « plus » signifie que deux variables évoluent dans le même sens (corrélation positive), tandis qu'un signe « moins » signifie qu'elles évoluent dans des sens opposés (corrélation négative). Les boucles de rétroaction sont qualifiées de renforçantes (R) ou d'équilibrantes (B). Une boucle renforçante indique qu'un changement dans une variable entraînera un changement supplémentaire dans le même sens, tandis qu'une boucle équilibrante atténue le changement.

Figure 4. Diagramme des boucles causales des régions de Casamance et du Sine Saloum



Source : Auteur.



Le diagramme de boucles causales (CLD) présenté dans ce rapport vise à représenter les dynamiques socio-écologiques au sein des communautés de la Casamance et du Sine Saloum. Les limites du diagramme correspondent au périmètre des projets de conservation et de restauration analysés. Il est le fruit de discussions approfondies avec divers acteurs des deux régions, notamment des représentants de collectifs et d'associations, des chefs de village et des agents chargés de la protection des ressources naturelles.

La méthodologie suivie pour l'élaboration de ce diagramme s'est déroulée en plusieurs étapes :

1. Identification et formulation préliminaire des liens de causalité avant les visites de terrain.
2. Organisation d'ateliers avec des groupes de discussion composés de cinq à 10 participants, animés afin d'identifier les problématiques, leurs causes et les solutions potentielles.
3. Entretiens entre les modérateurs des ateliers et le modélisateur afin de consolider une vision d'ensemble.
4. Ajustement du CLD par le modélisateur sur la base des enseignements tirés des entretiens.
5. Présentation et validation collective du CLD révisé avec l'ensemble des participants.
6. Intégration des modifications finales à l'issue de cette restitution.

Les relations de causalité sont indiquées par un signe positif (+) ou négatif (-). Un signe positif entre l'élément A et l'élément B signifie qu'une augmentation de A entraîne une augmentation de B, et qu'une diminution de A entraîne une diminution de B. À l'inverse, un signe négatif indique qu'une augmentation de A entraîne une diminution de B, et qu'une diminution de A conduit à une augmentation de B.

Dynamique liée à l'eau : Les changements climatiques exercent plusieurs pressions sur les eaux et les sols des écosystèmes de mangroves, notamment par (1) la diminution des précipitations, (2) l'élévation du niveau de la mer et (3) l'augmentation des taux d'évaporation. La réduction des précipitations perturbe l'équilibre naturel entre l'eau douce et l'eau salée dans le delta. En conditions normales, la salinité de l'écosystème est déterminée par l'apport régulier d'eau douce provenant des pluies et par l'infiltration d'eau salée en provenance de la mer. Le déséquilibre de ce système a des effets négatifs sur les mangroves et sur les populations locales, qui rencontrent des difficultés croissantes pour accéder à l'eau douce.

L'élévation du niveau de la mer accentue l'érosion côtière en entraînant la perte de stocks importants de sable et en facilitant la pénétration de l'eau salée plus en amont dans le delta. Cette érosion est aggravée par l'extraction domestique de sable à des fins de construction. Les modifications des sédiments et de la salinité de l'eau réduisent la capacité des mangroves à survivre et à se régénérer. Par ailleurs, l'augmentation des températures et de l'évapotranspiration accroît encore la salinité, les zones peu profondes de mangroves perdant rapidement leur eau par évaporation. La dégradation des mangroves diminue leur capacité



de rétention côtière, amplifiant l'érosion et alimentant un cycle de dégradation continue de l'écosystème.

Dynamique liée à la pêche : Les mangroves jouent un rôle fondamental dans le maintien des stocks halieutiques en servant d'habitats de reproduction et de nurseries. Leur dégradation réduit la survie des juvéniles, ce qui diminue les taux de reproduction des poissons. Cette baisse du renouvellement naturel entraîne une diminution des stocks disponibles, limitant les ressources exploitables par les communautés pour leur subsistance et leurs revenus. La pollution issue des plastiques, des engrais et des produits chimiques aggrave encore cette situation en réduisant la survie et la reproduction des espèces aquatiques.

Le niveau d'exploitation des ressources halieutiques dépend directement de la taille des stocks : des stocks abondants permettent des captures plus importantes et soutiennent les moyens de subsistance, tandis que des stocks réduits rendent l'exploitation plus difficile. L'augmentation des revenus issus de la vente des ressources peut, à son tour, encourager une exploitation accrue, souvent exacerbée par une surexploitation non réglementée liée à des capacités limitées de contrôle et d'application des règles. Les huîtres et les crustacés, en particulier, constituent des ressources essentielles pour les femmes et représentent une source de revenus déterminante.

Dynamique liée à l'exploitation du bois : La croissance démographique accroît la demande en bois de mangrove pour le combustible et la construction, exerçant une pression directe en matière de déforestation. À mesure que les ressources se raréfient, l'accès au bois devient plus difficile, l'exploitation dépassant les capacités de régénération naturelle. Le bois de mangrove demeure toutefois la principale source d'énergie et de matériaux de construction pour de nombreuses populations insulaires.

Dynamique agricole : Les pressions exercées sur les mangroves sont renforcées par l'augmentation de la demande alimentaire liée à la croissance démographique. Pour y répondre, les terres agricoles s'étendent, entraînant une conversion partielle des mangroves et des forêts en champs cultivés et en pâturages. L'intensification agricole, notamment par l'usage d'engrais et de pesticides, permet d'accroître la productivité à court terme, mais dégrade les sols sur le long terme, provoquant une baisse des rendements. La productivité agricole dépend également de la disponibilité en eau douce et des niveaux de salinité. En période de sécheresse, la diminution des récoltes pousse les ménages à intensifier les activités de pêche, illustrant l'interdépendance étroite entre les dynamiques agricoles et halieutiques.

Dynamique de l'exode rural : Les revenus des ménages, principalement issus de l'agriculture et de la pêche, influent fortement sur la qualité de vie. Lorsque ces revenus stagnent ou ne suivent pas l'augmentation du coût de la vie, les habitants sont de plus en plus contraints de migrer à la recherche d'opportunités économiques ailleurs. Les jeunes diplômés rencontrent notamment des difficultés à s'installer durablement dans des secteurs locaux à faibles revenus. Cet exode rural réduit la main-d'œuvre disponible pour les activités productives, accentue l'épuisement des ressources et limite la capacité de génération de revenus. Il entraîne également une perte progressive des traditions ancestrales et de l'identité culturelle, éléments particulièrement importants pour les femmes.



Dynamique de restauration et de conservation : Les activités de restauration et de conservation déclenchent un cercle vertueux de régénération naturelle : plus les mangroves sont étendues, plus elles produisent de semis, favorisant ainsi une croissance supplémentaire des forêts de mangroves. Cette dynamique bénéficie directement aux communautés en améliorant (1) la résilience du littoral face à la montée des eaux et aux événements climatiques extrêmes, (2) la qualité de l'écosystème marin et la stabilité de la salinité de l'eau, et (3) les taux de reproduction des stocks de poissons.

Par ailleurs, l'extension et le renforcement des zones protégées contribuent à garantir le succès des efforts de restauration, à maintenir les processus naturels de régénération et à ralentir, voire stopper, la conversion des mangroves en terres agricoles ou en pâturages ainsi que la déforestation liée à la demande en bois.

2.3 Analyse des données climatiques

Les données climatiques utilisées dans cette analyse reposent sur les scénarios des trajectoires socio-économiques partagées (Shared Socioeconomic Pathways, SSP). Les SSP définissent différentes trajectoires de référence susceptibles d'émerger en fonction de facteurs structurels tels que la croissance démographique, l'innovation technologique, le développement économique et les trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre qui en découlent (Carbon Brief, 2018). Chaque SSP s'appuie sur des récits socio-économiques cohérents décrivant les grandes tendances susceptibles de façonner les sociétés futures.

Dans ce cadre, la présente étude examine trois trajectoires climatiques caractérisées par Meinshausen et al. (2020) :

- **SSP1-2.6 (« scénario 2 °C »)** : cette trajectoire décrit un monde engagé sur la voie de la durabilité, caractérisé par une faible croissance démographique, une diffusion rapide des technologies d'énergie propre et une coopération internationale renforcée en matière de politiques climatiques. Elle suppose des investissements importants dans les énergies renouvelables, des efforts de restauration des écosystèmes et des gains substantiels en efficacité énergétique, qui, combinés, permettent une réduction significative des émissions (Meinshausen et al., 2020).
- **SSP3-7.0 (scénario d'émissions moyennes à élevées)** : ce scénario est marqué par des rivalités régionales accrues, des progrès technologiques lents et des réponses politiques fragmentées. La croissance démographique demeure élevée dans les régions en développement, tandis que la croissance économique et les niveaux d'éducation progressent lentement, limitant les capacités d'atténuation. La dépendance au charbon et aux autres combustibles fossiles se maintient, et les pressions sur l'utilisation des terres s'intensifient, entraînant une augmentation des émissions de gaz à effet de serre et un réchauffement global d'environ 3 °C d'ici la fin du siècle (Meinshausen et al., 2020).
- **SSP5-8.5 (scénario à forte dépendance aux combustibles fossiles)** : cette trajectoire dépeint un monde caractérisé par une croissance économique rapide, une demande énergétique élevée et une atténuation climatique limitée. La demande croissante en énergie est principalement satisfaite par une consommation continue



de charbon, de pétrole et de gaz. Les avancées technologiques se concentrent davantage sur la productivité et la consommation que sur la décarbonation, conduisant à une augmentation de la température mondiale supérieure à 4 °C par rapport aux niveaux préindustriels. Le SSP5-8.5 représente ainsi un avenir à fortes émissions, associé à des impacts climatiques sévères et à des risques accrus pour les écosystèmes et les systèmes humains (Meinshausen et al., 2020).

Chaque trajectoire SSP influe différemment sur la manière dont les risques climatiques, tels que les épisodes extrêmes de sécheresse et de précipitations, peuvent se manifester dans le Sine Saloum, orientant ainsi l'évaluation des stratégies d'adaptation futures. Bien que ces scénarios mondiaux fournissent un cadre analytique précieux, il est essentiel de reconnaître que les impacts régionaux peuvent varier considérablement. Des facteurs locaux, notamment la géographie, les conditions socio-économiques et les caractéristiques environnementales, modulent la façon dont ces grandes tendances se traduisent à l'échelle locale. Par conséquent, si les SSP offrent une base utile pour explorer des futurs plausibles, une analyse climatique contextualisée est indispensable pour appréhender les défis et les risques spécifiques auxquels sont confrontées les communautés du Sine Saloum.

Dans cette optique, les sections suivantes examinent quatre indicateurs climatiques clés : les épisodes de sécheresse extrême, les épisodes de précipitations extrêmes, la température moyenne et les précipitations mensuelles moyennes. Les données relatives à ces indicateurs proviennent de la base de données Copernicus de l'Union européenne.

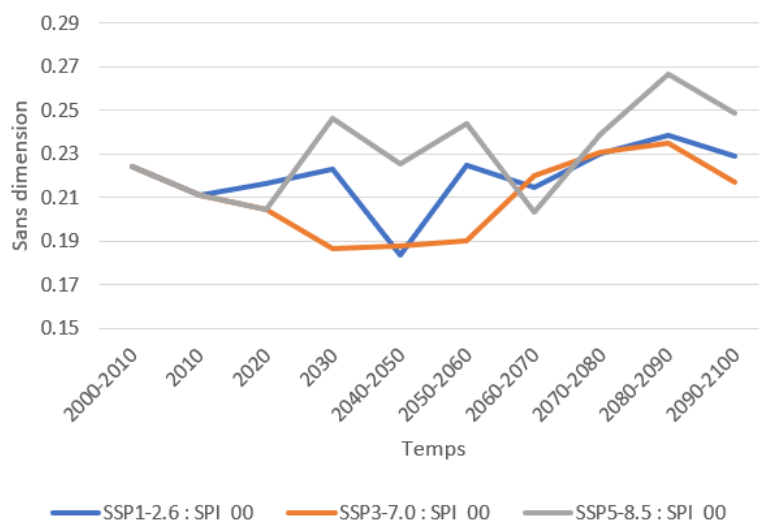
Épisodes de sécheresse extrême

Comme l'illustre la figure 7, les tendances des épisodes de sécheresse extrême évoluent de manière différenciée tout au long du siècle selon les trois scénarios d'émissions. Dans le scénario SSP1-2.6, le percentile de sécheresse extrême demeure globalement stable, ponctué de fluctuations modérées, et ne présente qu'une augmentation limitée vers la fin du siècle. Le scénario SSP3-7.0 se caractérise par une diminution plus marquée au milieu du siècle, avec des valeurs en net recul entre les années 2040 et 2060, avant un redressement progressif vers la fin de la période, tout en restant inférieur aux niveaux observés dans le scénario à faibles émissions.

À l'inverse, le scénario SSP5-8.5 affiche les variations les plus prononcées, avec des pics importants apparaissant après 2070 et se maintenant jusqu'en 2100. Cette évolution indique un risque accru d'épisodes de sécheresse à la fois plus intenses et plus fréquents dans un contexte de fortes émissions. Une telle trajectoire est susceptible d'amplifier les impacts liés à la sécheresse dans la région, compromettant la stabilité des écosystèmes, menaçant la disponibilité en eau et exposant les communautés locales à une vulnérabilité accrue et à une insécurité des ressources.



Figure 5. Percentile de sécheresse extrême



Source : Données Copernicus de l'Union européenne.

Événements de précipitations extrêmes

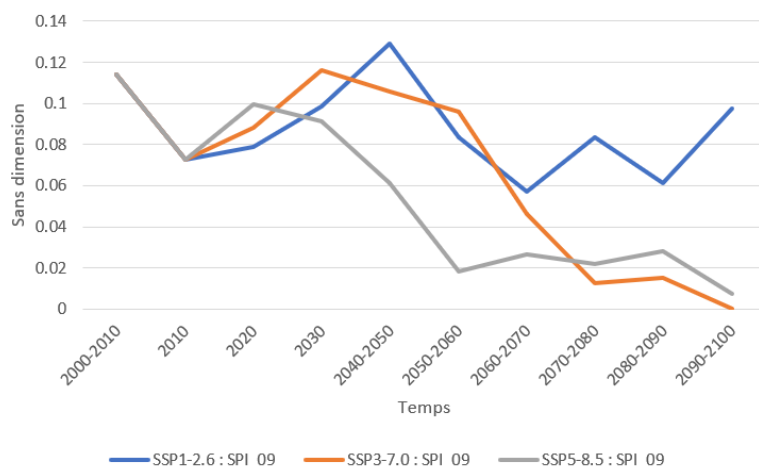
Les projections concernant les événements de précipitations extrêmes divergent nettement selon les scénarios d'émissions tout au long du siècle (tableau 8). Dans le scénario à fortes émissions (SSP5-8.5), le percentile de précipitations extrêmes débute à des niveaux relativement élevés au début du siècle, puis diminue de manière marquée pour atteindre une valeur proche de zéro autour de 2070, où il demeure faible jusqu'en 2100. Le scénario d'émissions moyennes à élevées (SSP3-7.0) suit une trajectoire similaire, caractérisée par une augmentation initiale jusqu'aux années 2030–2040, où un pic est atteint, avant un déclin rapide au cours duquel les événements de précipitations extrêmes deviennent progressivement plus rares durant la seconde moitié du siècle.

À l'inverse, le scénario à faibles émissions (SSP1-2.6) présente une dynamique plus résiliente. Après un pic observé vers la période 2040–2050, le percentile de précipitations extrêmes se stabilise au cours de la seconde moitié du siècle, avec une reprise notable à l'horizon 2100, suggérant une capacité durable du système climatique à générer des événements de pluie intense.

La diminution des percentiles de précipitations extrêmes dans les scénarios à fortes émissions indique une réduction de la fréquence et de l'intensité des épisodes pluvieux intenses, malgré des trajectoires climatiques globalement plus humides. Cette évolution traduit un changement structurel dans la distribution et l'intensité des précipitations plutôt qu'une simple variation des volumes totaux. Elle entraîne des conséquences hydrologiques majeures : la baisse de l'intensité des pluies limite la recharge des nappes phréatiques et réduit les débits des cours d'eau, modifiant en profondeur l'hydrologie régionale et compromettant la sécurité hydrique tant pour les populations humaines que pour les écosystèmes.



Figure 6. Percentile des précipitations extrêmes



Source : Données Copernicus de l'Union européenne.

Température mensuelle moyenne

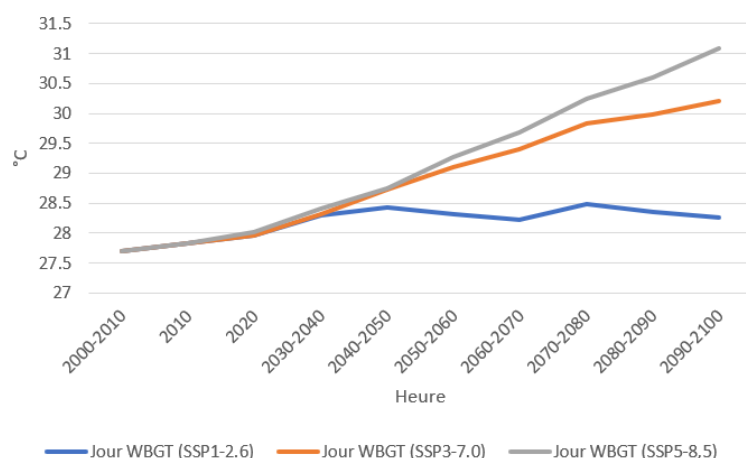
Comme l'illustre la figure 9, les projections de température mettent en évidence des trajectoires nettement différenciées selon les trois scénarios d'émissions. Dans le scénario à faibles émissions (SSP1-2.6), les températures mensuelles moyennes augmentent de manière modérée, passant d'environ 27,8 °C à près de 28 °C à l'horizon 2080, avant de se stabiliser puis de diminuer légèrement vers la fin du siècle. Cette évolution traduit l'efficacité des efforts d'atténuation des changements climatiques, qui permettent de limiter le réchauffement et de stabiliser les températures à long terme.

Le scénario à émissions intermédiaires (SSP3-7.0) présente une trajectoire de réchauffement progressive et continue tout au long du siècle, avec des températures atteignant environ 31 °C d'ici 2100. À l'inverse, le scénario à fortes émissions (SSP5-8.5) affiche la tendance au réchauffement la plus marquée, avec une augmentation soutenue des températures qui dépassent également 31 °C à la fin du siècle.

Cette hausse des températures dans les scénarios à émissions élevées constitue une menace majeure pour les écosystèmes et les communautés de la région. L'augmentation des températures accélère les taux d'évapotranspiration, intensifie le stress hydrique et perturbe l'équilibre salin délicat essentiel au bon fonctionnement des écosystèmes de mangroves. À mesure que les températures s'élèvent, la capacité des sols à retenir l'humidité diminue, aggravant les conditions de sécheresse et déclenchant des effets en cascade, tels que décrits dans la cartographie du système. Par ailleurs, des températures plus élevées exercent une pression accrue sur les pêcheries, réduisent la productivité agricole et menacent directement les moyens de subsistance des communautés dépendantes des ressources naturelles.



Figure 7. Température mensuelle moyenne



Source : Données Copernicus de l'Union européenne.

Précipitations moyennes

La figure 10 présente, sous forme de diagrammes en boîte, les précipitations moyennes mensuelles (en mm/mois) observées dans la zone étudiée pour la période 2000–2020 selon le scénario SSP5-8.5, tandis que la figure 11 illustre les mêmes variables projetées pour la période 2040–2060.

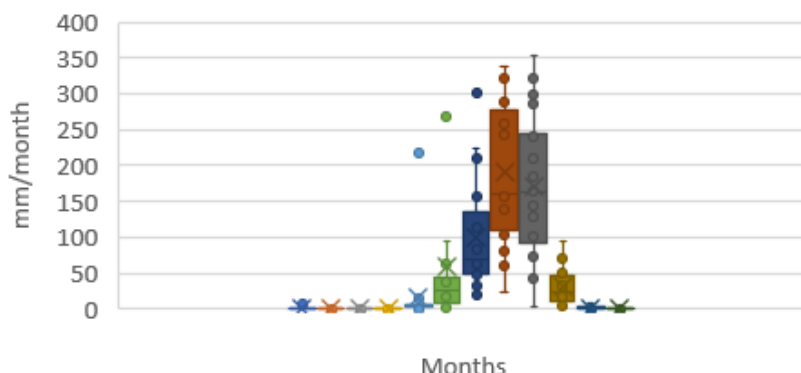
Sur la période historique 2000–2020, le régime pluviométrique est caractérisé par une saison des pluies bien marquée, concentrée entre juin et octobre, avec un pic des précipitations en août–septembre, atteignant en moyenne environ 300 mm par mois. À l'inverse, la saison sèche s'étend de novembre à mai, période durant laquelle les précipitations mensuelles restent faibles et dépassent rarement 50 mm.

À l'horizon du milieu du siècle (2040–2060), la structure saisonnière globale des précipitations demeure similaire, mais des changements notables apparaissent en termes d'intensité et de variabilité. Bien que la saison des pluies conserve globalement le même calendrier, les projections indiquent une variabilité accrue des volumes de précipitations. La saison sèche continue de dominer une grande partie de l'année, mais l'élargissement des marges d'incertitude suggère une imprévisibilité croissante, tant dans le calendrier que dans l'intensité des précipitations.

Ces évolutions du régime pluviométrique ont des incidences importantes pour les systèmes socio-écologiques de la région, comme l'illustre le diagramme de boucles causales. Des modifications du calendrier ou de l'intensité saisonnière des pluies peuvent perturber les cycles agricoles, influencer la disponibilité en eau douce pour les communautés et altérer l'équilibre salin délicat, essentiel au bon fonctionnement des écosystèmes de mangroves. Une variabilité accrue des précipitations risque en particulier d'accentuer les difficultés rencontrées par les femmes et les populations vulnérables, qui dépendent fortement de régimes saisonniers prévisibles pour la pêche, l'agriculture et la collecte de ressources naturelles.

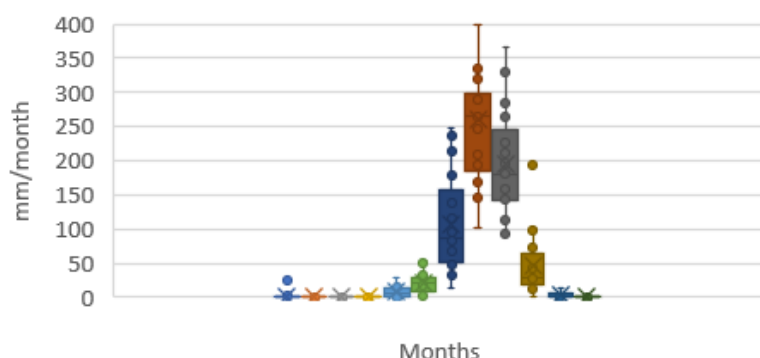


Figure 8. Précipitations moyennes (2000-2020)



Source : Données Copernicus de l'Union européenne.

Figure 9. Précipitations moyennes (2040-2060)



Source : Données Copernicus de l'Union européenne.

À mesure que les périodes de sécheresse s'allongent dans les scénarios climatiques futurs, les sols tendent à se compacter et à devenir de plus en plus imperméables, ce qui réduit encore leur capacité d'infiltration. Lorsque des précipitations intenses finissent par survenir, qu'il s'agisse de pluies saisonnières plus abondantes ou d'épisodes de pluie extrême plus fréquents, le ruissellement généré sur ces sols durcis peut rapidement dépasser la capacité des systèmes de drainage naturels. Cette combinaison de sécheresses prolongées et de précipitations soudaines et intenses accroît significativement les risques d'inondation, d'érosion des berges et de submersion des zones basses.

Dans l'analyse coûts-bénéfices, nous examinons comment les variations des phénomènes météorologiques extrêmes selon les différents scénarios SSP se traduisent par des coûts de dommages aux infrastructures et par des risques économiques accrus. En analysant, sur l'ensemble du cycle de vie du projet, la fréquence et l'intensité des inondations en lien avec les trajectoires climatiques SSP, il est possible de quantifier les impacts potentiels sur les infrastructures critiques et d'évaluer la valeur économique de la restauration des mangroves. Cette approche permet d'estimer les coûts évités grâce à la réduction des dommages liés aux inondations, tout comme les bénéfices associés à la protection du littoral et au renforcement de la résilience globale. Elle offre ainsi une vision complète des services de protection fournis



par les écosystèmes de mangroves restaurés dans différents scénarios climatiques futurs. Enfin, l'analyse de l'évolution d'indicateurs clés, tels que le rapport bénéfices-coûts (RBC), la valeur actuelle nette (VAN) et le taux de rendement interne (TRI), permet d'approfondir la compréhension des répercussions économiques potentielles associées aux risques d'inondation.

2.4 Analyse coûts-bénéfices intégrée

La section suivante présente une analyse coûts-bénéfices (ACB) intégrée visant à évaluer la viabilité économique de la restauration des mangroves dans différents scénarios d'inondation et de trajectoires climatiques SSP. Cette analyse est structurée en trois sous-sections principales.

- Tout d'abord, la sous-section consacrée à la méthodologie décrit l'approche analytique ainsi que les principales hypothèses retenues pour l'estimation des coûts et des bénéfices, permettant au lecteur de comprendre clairement la manière dont les résultats ont été produits.
- Ensuite, la sous-section dédiée aux indicateurs présente et définit l'ensemble des indicateurs utilisés dans l'analyse coûts-bénéfices. Cette clarification est essentielle pour interpréter correctement la portée et la signification des éléments quantifiés.
- Enfin, la sous-section consacrée aux résultats de l'ACB expose les résultats monétisés en comparant les coûts et les bénéfices selon différents scénarios d'inondation et de climat. Cette analyse permet d'éclairer les incidences économiques à long terme de l'adoption de stratégies fondées sur les infrastructures naturelles (IFN), en comparaison avec le maintien du statu quo.

2.4.1 Méthodologie

L'analyse coûts-bénéfices s'appuie sur un modèle d'entrées-sorties développé sous Excel, couvrant une période de 27 ans (2024–2050). Le modèle commence par définir et projeter, année par année, les principaux paramètres, notamment l'exposition des actifs, les coûts et la valeur des services écosystémiques. Ces paramètres sont évalués selon deux scénarios distincts : un scénario de statu quo (scénario de référence), représentant les conditions actuelles en l'absence d'intervention, et un scénario d'infrastructures fondées sur la nature (IFN), reflétant les effets attendus de la restauration des mangroves (voir l'annexe B pour le détail des hypothèses de modélisation et des spécifications des paramètres).

Pour chacun de ces scénarios, le modèle calcule les valeurs annuelles des indicateurs clés. Par exemple, pour estimer les coûts liés aux dommages causés par les inondations, les valeurs du scénario de référence sont établies de manière à refléter les conditions actuelles, tandis que celles du scénario IFN intègrent les effets d'une protection côtière renforcée grâce à la restauration des mangroves. En soustrayant les valeurs du scénario de référence de celles du scénario IFN, le modèle quantifie les coûts évités, capturant ainsi les bénéfices directs de l'intervention. Les résultats présentés dans ce rapport correspondent à la différence nette entre ces deux scénarios.

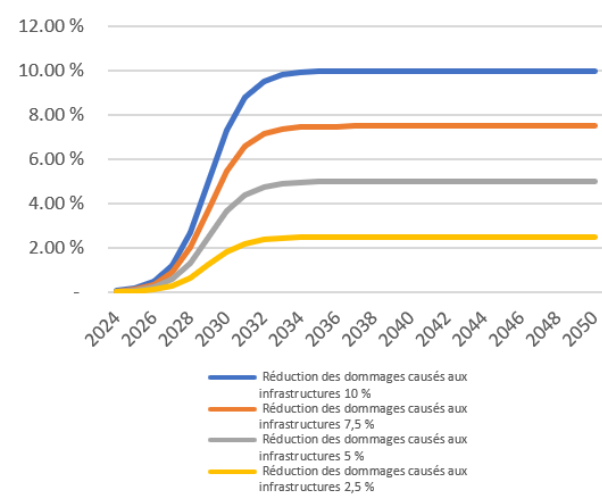


Afin d'analyser l'influence des changements climatiques et de la fréquence des inondations sur les résultats, le scénario IFN est évalué selon deux trajectoires climatiques, SSP3-7.0 (émissions moyennes à élevées) et SSP5-8.5 (émissions élevées), ainsi que selon deux régimes d'inondation distincts. Dans le régime d'inondations sévères, les inondations extrêmes sont supposées se produire tous les deux ans, tandis que dans le régime d'inondations modérées, elles sont supposées survenir tous les cinq ans (voir l'annexe A pour la méthodologie relative aux hypothèses sur les régimes d'inondation).

Chacune des quatre combinaisons de scénarios résultantes est ensuite analysée selon quatre niveaux hypothétiques de réduction des dommages aux infrastructures (2,5 %, 5 %, 7,5 % et 10 %), afin de refléter l'incertitude entourant la performance protectrice des mangroves restaurées (figure 18). Ces pourcentages correspondent à la réduction proportionnelle des coûts liés aux dommages causés par les inondations que le projet permettrait d'éviter. Le seuil de 2,5 % représente une hypothèse prudente et conservatrice de protection minimale, tandis que le seuil de 10 % constitue une borne supérieure optimiste de l'efficacité potentielle des mangroves en matière de protection. Cette approche permet de prendre en compte l'incertitude liée au succès de la restauration et aide les décideurs à mieux comprendre l'influence des performances de restauration sur la viabilité économique globale du projet (tableau 4).

Ces scénarios sont utilisés pour explorer différents niveaux possibles d'efficacité, car l'impact réel des mangroves sur la protection des infrastructures reste incertain. En pratique, on ne connaît pas à l'avance leur niveau exact d'efficacité. Plutôt que de supposer une seule valeur, on teste donc plusieurs niveaux d'efficacité pour tenir compte de cette incertitude. Cela permet de voir dans quelle mesure les résultats changent selon les performances des mangroves. Par exemple, que se passe-t-il si elles sont peu efficaces, moyennement efficaces ou très efficaces ? On obtient ainsi une gamme de résultats possibles, au lieu d'une seule estimation (tableau 3).

Figure 10. Efficacité de la protection avec une réduction de 2,5 % à 10 % des dommages causés aux infrastructures⁴



Source : Auteur.

Tableau 1. Réduction des dommages aux infrastructures évaluée en fonction de l'efficacité de la protection du projet de restauration des mangroves

Efficacité de la protection	Réduction des dommages aux infrastructures
Élevée	10 %
Moyenne/élevée	7,5 %
Moyenne/faible	5 %
Faible	2,5 %

Source : Auteur.

Pris ensemble, ces paramètres permettent au modèle de simuler le risque d’inondation selon différents niveaux de gravité, en précisant à la fois la probabilité de survenue des inondations extrêmes et la fréquence effective à laquelle elles pourraient se produire.

⁴ Ce graphique montre comment l’efficacité des mangroves à protéger les infrastructures évolue dans le temps, selon différentes hypothèses. Au début, entre 2024 et 2026, les mangroves n’apportent presque pas de protection mesurable. À partir de 2027, leur effet commence à apparaître, puis il augmente rapidement entre 2028 et 2031. Cela correspond à la période où les mangroves deviennent suffisamment développées pour réduire les dommages. Ensuite, à partir du début des années 2030, l’efficacité se stabilise, ce qui signifie que leur capacité de protection subsiste. Par exemple, on peut envisager un scénario où les mangroves permettent de réduire les dommages de 7,5 %. Dans ce cas, la protection augmente progressivement à partir de la fin des années 2020, atteint son niveau maximal au début des années 2030, puis reste stable. Ce scénario représente une possibilité parmi d’autres, qui dépend du niveau réel d’efficacité des mangroves sur le terrain. Ainsi, le graphique illustre différentes trajectoires possibles et montre que les mangroves peuvent devenir un moyen important et durable de protection des infrastructures, une fois qu’elles sont suffisamment développées.



Le modèle agrège ensuite l'ensemble des coûts et des bénéfices annuels sur toute la durée du projet afin de calculer les coûts et bénéfices cumulés. La valeur actuelle nette (VAN) convertit l'ensemble des flux futurs de coûts et de bénéfices en valeurs monétaires actualisées, permettant ainsi de déterminer si le projet génère une valeur nette sur les plans social, environnemental et économique. Une VAN positive indique que le projet est économiquement viable, tandis qu'une VAN négative signifie que les coûts excèdent les bénéfices et que le projet ne devrait pas être poursuivi.

Afin de fournir une évaluation économique complète, le modèle calcule également le rapport bénéfices-coûts (RBC), qui compare la valeur des bénéfices à celle des coûts, ainsi que le taux de rendement interne (TRI), qui représente le rendement annuel implicite de l'investissement.

L'ensemble des flux de trésorerie futurs est actualisé à leur valeur présente à l'aide d'un taux d'actualisation social annuel de 3,5 %, conformément aux recommandations du Green Book britannique relatif à l'évaluation des projets du secteur public (HM Treasury, 2020). Ce taux reflète le coût d'opportunité du capital et garantit la comparabilité des coûts et des bénéfices survenant à différentes périodes.

Cette approche analytique, combinée à des tests de sensibilité portant sur les scénarios climatiques SSP, la fréquence des inondations et les différents niveaux de réduction des dommages aux infrastructures, offre un cadre robuste pour comprendre comment la restauration des mangroves génère de la valeur économique en réduisant les dommages liés aux inondations et en renforçant la résilience des territoires côtiers.

2.4.2 Indicateurs

Afin d'évaluer les coûts et les bénéfices du scénario de référence et du scénario IFN, une série d'indicateurs ont été identifiés dans le cadre du processus de cartographie du système afin de saisir les impacts directs et indirects des interventions. Ces indicateurs fournissent une image complète des incidences économiques, sociales et environnementales des scénarios. Chaque indicateur mesure un aspect spécifique de l'écosystème et des performances des infrastructures de la mangrove, permettant ainsi une compréhension nuancée du projet de restauration. Vous trouverez ci-dessous une brève définition de chaque indicateur utilisé dans l'analyse coûts-bénéfices :

Tableau 2. Liste et définitions des indicateurs de l'analyse coûts-bénéfices

Coûts directs	
Coûts de mise en œuvre (CAPEX)	Coûts initiaux liés à la mise en œuvre de la restauration des mangroves dans l'APAC Kolou Ndi, le RNC Palmarin, l'AMP Sokone et l'AMP Bamboung.
Coûts d'entretien (OPEX)	Coûts permanents nécessaires à la conservation des mangroves au fil du temps, tels que la gestion communautaire par le biais de patrouilles et de récoltes durables, les structures de stabilisation des berges pour contrôler l'érosion, les registres de terrain permanents et les examens techniques annuels.



Coûts/pertes évités

Domages évités aux infrastructures	Économies résultant de la réduction des dommages causés aux bâtiments résidentiels, aux bâtiments publics et aux routes grâce aux mesures d'atténuation des inondations mises en place par les IFN.
Coûts liés à la santé évités	Réduction des dépenses de santé grâce à la diminution des maladies respiratoires attribuables à la restauration des mangroves.

Bénéfices supplémentaires

Revenus de la pêche	Bénéfices liés à la préservation des nurseries de poissons et de la biodiversité dans le cadre de la restauration des mangroves, car des écosystèmes sains contribuent à la durabilité de la pêche.
Revenus agricoles	Bénéfices liés à l'enrichissement de la fertilité des sols à travers l'accumulation de matière organique et l'amélioration de la disponibilité en eau grâce à une meilleure recharge des nappes phréatiques, ce qui se traduit par des rendements agricoles plus productifs et plus résilients. La production agricole comprend le riz, le maïs, le millet, le sorgho et la pastèque.
Recettes provenant de la pêche	Augmentation des récoltes de fruits de mer grâce à la restauration des habitats de nurseries de mangroves qui abritent des poissons, des crustacés et des mollusques ; amélioration de la qualité de l'eau grâce à la filtration naturelle des sédiments et des polluants ; et augmentation de la productivité des écosystèmes côtiers, ce qui se traduit par des rendements de pêche plus élevés et plus durables.
Approvisionnement en eau potable	Amélioration de l'approvisionnement en eau potable grâce à la filtration des sédiments et des contaminants, à la stabilisation des aquifères côtiers grâce à une recharge accrue des nappes phréatiques et à la protection de l'intégrité des bassins versants, garantissant ainsi des sources d'eau douce plus propres et plus fiables.
Approvisionnement alimentaire	Production alimentaire supplémentaire grâce aux systèmes soutenus par les mangroves, qui est conservée pour la consommation des ménages et la redistribution communautaire plutôt que vendue sur les marchés.
Approvisionnement en bois	Augmentation de l'approvisionnement en bois à travers l'extension de la superficie forestière, permettant une récolte durable de bois de chauffage et de matériaux de construction grâce à des cycles de repousse gérés et à la gestion communautaire.
Création d'emplois	Nouveaux emplois créés grâce à la mise en œuvre du projet de restauration des mangroves.
Séquestration du carbone	Valeur du coût social attribuée au dioxyde de carbone capturé et stocké par les écosystèmes restaurés, contribuant à l'atténuation des changements climatiques.

Source : Auteur.



2.4.3 Résultats

Cette sous-section présente les résultats cumulés de l'analyse coûts-bénéfices (ACB) intégrée pour chaque combinaison de scénario climatique SSP et de régime d'inondation, couvrant l'ensemble des hypothèses de fréquence des inondations sur la période 2024–2050. Tous les montants monétaires sont exprimés en valeur actuelle, actualisés à un taux de 3,5 %, conformément à la méthodologie décrite précédemment.

Dans un premier temps, les performances des infrastructures fondées sur la nature (IFN) sont comparées selon les différents scénarios climatiques et régimes d'inondation, à l'aide d'indicateurs clés de performance, notamment la valeur actuelle nette (VAN) et le rapport bénéfices-coûts (RBC). Cette comparaison permet d'analyser dans quelle mesure les coûts évités liés aux dommages aux infrastructures expliquent les variations de performance des IFN, et donc la valeur ajoutée générée pour les communautés et leur résilience.

Dans un second temps, l'analyse examine la composition plus large des bénéfices et des coûts évités au-delà de la seule protection des infrastructures, afin d'évaluer l'impact global du projet à travers plusieurs catégories de bénéfices. Enfin, une analyse ciblée différenciée selon le genre est menée, en évaluant les bénéfices spécifiques et les coûts évités générés pour les femmes, tout comme la valeur ajoutée créée pour les membres féminins des communautés.

La performance globale des IFN est évaluée à l'aide de la VAN et du RBC. Les variations observées selon les scénarios climatiques et les régimes d'inondation reflètent principalement les différences dans les coûts évités liés aux dommages aux infrastructures. Étant donné que les autres catégories de bénéfices, telles que les économies en matière de santé et les revenus issus des services écosystémiques, demeurent constantes d'un scénario à l'autre, la VAN et le RBC évoluent proportionnellement à l'ampleur des dommages évités grâce à la restauration des mangroves. Cette sensibilité met en évidence le rôle déterminant de l'intensité des aléas climatiques et de la fréquence des inondations dans la rentabilité des infrastructures fondées sur la nature.

Le tableau 6 synthétise les résultats de l'analyse coûts-bénéfices pour quatre niveaux d'efficacité de protection (réduction des dommages aux infrastructures de 2,5 %, 5 %, 7,5 % et 10 %) et pour deux régimes de fréquence des inondations : modéré (inondations tous les cinq ans) et sévère (inondations tous les deux ans). Les résultats révèlent une augmentation marquée de la VAN à mesure que l'efficacité de la protection s'améliore. Avec une efficacité minimale de 2,5 %, le régime modéré génère une VAN d'environ 5,4 milliards de francs CFA, tandis qu'une efficacité de 10 % dans ce même régime fait croître la VAN à plus de 23 milliards de francs CFA. Dans le régime d'inondations sévères, l'augmentation de l'efficacité de 2,5 % à 10 % conduit également à plus qu'un doublement de la VAN, démontrant que des niveaux de protection plus élevés des écosystèmes produisent une valeur économique nettement supérieure par la prévention des dommages liés aux inondations. Le coût total actualisé du projet est estimé à 4,41 milliards de francs CFA.

Le rapport bénéfices-coûts confirme ces résultats et met en évidence une rentabilité sociale robuste dans l'ensemble des scénarios. Dans l'hypothèse la plus prudente, combinant une fréquence modérée des inondations et une efficacité de protection de 2,5 %, le RBC atteint 2,2, indiquant que chaque franc CFA investi génère 2,2 francs CFA de bénéfices. Ce ratio



augmente fortement dans les scénarios plus ambitieux, atteignant un maximum de 6,2 dans le régime d'inondations sévères avec une efficacité de protection de 10 %. Cela signifie que chaque CFA investi produit jusqu'à 6,2 CFA de bénéfices sociétaux, soulignant le fort potentiel économique de la restauration des mangroves dans les zones à haut risque d'inondation.

De manière générale, les performances du projet s'améliorent systématiquement dans les scénarios caractérisés par une fréquence accrue des inondations. Cette tendance est observée quel que soit le niveau d'efficacité de protection retenu, ce qui indique que les bénéfices de la restauration des mangroves augmentent à mesure que les inondations deviennent plus fréquentes. Ainsi, même lorsque la réduction des dommages aux infrastructures demeure modérée, les coûts cumulés évités augmentent fortement dans les contextes de risques plus élevés, renforçant la viabilité économique et la résilience globale du projet.

Le tableau 7 compare les performances économiques de la restauration des mangroves selon deux scénarios climatiques SSP. Comme le montre l'analyse climatique, le scénario SSP5-8.5, caractérisé par des émissions élevées, accentue fortement les risques d'inondation vers la fin du siècle, tandis que le scénario SSP3-7.0 entraîne des inondations plus fréquentes plus tôt dans la période d'analyse. Bien que le scénario SSP5-8.5 soit plus sévère à long terme, les inondations majeures y sont moins fréquentes avant 2050, ce qui retarde une partie des dommages évités. À l'inverse, le scénario SSP3-7.0 génère des inondations plus régulières sur la période 2024–2050, permettant à la restauration des mangroves de produire des bénéfices immédiats et cumulatifs.

En conséquence, les VAN associées au scénario SSP3-7.0 dépassent systématiquement celles du scénario SSP5-8.5 pour tous les niveaux d'efficacité de protection. Par exemple, avec une réduction de 10 % des dommages aux infrastructures, la VAN atteint 17,5 milliards de francs CFA dans le scénario SSP3-7.0, contre 9,4 milliards de francs CFA dans le scénario SSP5-8.5. Même dans le scénario le plus conservateur (SSP5-8.5 avec une efficacité de protection de 2,5 %), le projet conserve une VAN positive de 5 milliards de francs CFA.

Ces résultats démontrent que la restauration des mangroves génère ses meilleurs rendements économiques lorsqu'elle permet d'atténuer des inondations fréquentes et intenses, confirmant son rôle central dans la protection des communautés face aux impacts climatiques extrêmes. Dans le scénario SSP5-8.5 avec une faible efficacité de protection, le RBC s'élève à 2,13, tandis que dans le scénario SSP3-7.0 avec une efficacité de 10 %, il atteint 3,97, indiquant que chaque franc CFA investi génère près de quatre francs CFA de bénéfices.

Dans l'ensemble, ces résultats confirment que l'investissement dans la restauration des mangroves du Sine Saloum présente de solides performances économiques et que le ciblage des zones les plus exposées aux inondations maximise à la fois la rentabilité économique et les bénéfices en matière de résilience climatique.



Tableau 3. Tableau récapitulatif de l'analyse coûts-bénéfices intégrée basée sur des scénarios de fréquence des inondations, chiffres en milliards de CFA actualisés à 3,5 %.

Réduction des dommages causés aux infrastructures	Réduction des dommages 10 %		Réduction des dommages 7,5 %		Réduction des dommages 5 %		Réduction des dommages 2,5 %	
Fréquence des inondations	Modérée	Sévère	Modérée	Sévère	Modérée	Sévère	Modérée	Sévère
Coûts directs								
Coûts de construction	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Coûts d'exploitation et d'entretien	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37
Coûts totaux	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41
Coûts évités								
Dommages évités aux infrastructures	7,98	19,63	5,98	14,72	3,99	9,82	1,99	4,91
Coûts évités liés à la santé	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Bénéfices supplémentaires								
Revenus de la pêche	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Revenus agricoles	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
Recettes provenant de la pêche	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Approvisionnement en eau potable	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Approvisionnement alimentaire	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Approvisionnement en bois	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Création d'emplois	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42



Réduction des dommages causés aux infrastructures	Réduction des dommages 10 %		Réduction des dommages 7,5 %		Réduction des dommages 5 %		Réduction des dommages 2,5 %	
Séquestration du carbone	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Total des bénéfices et des coûts évités	15,86	27,51	13,86	22,60	11,87	17,69	9,87	12,78
Indicateurs clés de performance								
Valeur actuelle nette (VAN)	11,44	23,09	9,45	18,19	7,45	13,28	5,46	8,37
Rapport bénéfices-coûts (RBC)	3,59	6,23	3,14	5,12	2,69	4,01	2,24	2,90
Taux de rendement interne (TRI)	150 %	303 %	135 %	254 %	118 %	201 %	95 %	14 %

Source: Auteur.

Tableau 4. Tableau récapitulatif de l'analyse coûts-bénéfices intégrée basée sur les scénarios SSP, chiffres en milliards de CFA actualisés à 3,5 %

	Réduction des dommages 10 %		Réduction des dommages 7,5 %		Réduction des dommages 5 %		Réduction des dommages 2,5 %	
Scénario SSP	SSP5-8,5	SSP3-7,0	SSP5-8,5	SSP3-7,0	SSP5-8,5	SSP3-7,0	SSP5-8,5	SSP3-7,0
Coûts directs								
Coûts de construction	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Coûts d'exploitation et d'entretien	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37
Coûts totaux	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41
Coûts évités								



	Réduction des dommages 10 %		Réduction des dommages 7,5 %		Réduction des dommages 5 %		Réduction des dommages 2,5 %	
Dommages évités aux infrastructures	6,14	9,66	4,61	7,24	3,07	4,83	1,54	2,41
Coûts évités liés à la santé	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Bénéfices supplémentaires								
Revenus de la pêche	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Revenus agricoles	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
Recettes provenant de la pêche	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Approvisionnement en eau potable	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Approvisionnement alimentaire	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Approvisionnement en bois	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Création d'emplois	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
Séquestration du carbone	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Total des bénéfices et des coûts évités	14,02	17,53	12,48	15,12	10,95	12,71	9,41	10,29
Indicateurs clés de performance								
VAN	9,61	13,12	8,07	10,71	6,53	8,29	5,00	5,88
RBC	3,18	3,97	2,83	3,43	2,48	2,88	2,13	2,33
TRI	152 %	199 %	134 %	170 %	113 %	139 %	90 %	104 %

Source : Auteur.

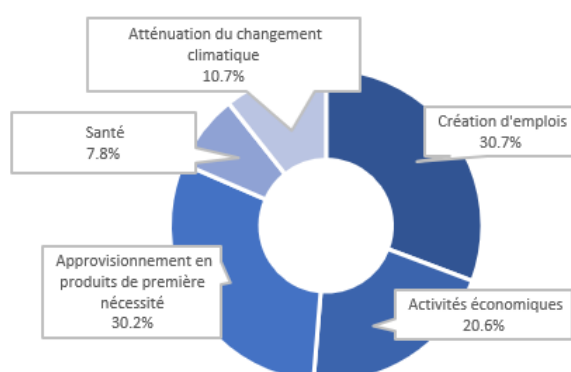


Au-delà de la prévention des dommages aux infrastructures, la restauration des mangroves génère un large éventail d'avantages qui renforcent la résilience et la prospérité des communautés côtières. Les neuf avantages identifiés ainsi que les coûts évités peuvent être regroupés en cinq grandes catégories d'impacts (figure 19).

- Premièrement, la création d'emplois liés aux activités de plantation et d'entretien représente 31 % du total des avantages non liés aux infrastructures.
- Deuxièmement, les approvisionnements essentiels, incluant la production alimentaire saisonnière, le bois récolté de manière durable et l'amélioration de la filtration de l'eau potable, constituent 30 % des avantages.
- Troisièmement, les activités économiques — telles que l'augmentation des revenus agricoles, l'amélioration des récoltes de fruits de mer et la hausse des revenus issus de la pêche — contribuent à hauteur de 20,6 %, mettant en évidence le renforcement des marchés locaux pour les produits agricoles et marins.
- Quatrièmement, l'atténuation des changements climatiques par la séquestration du carbone représente 10,7 % des avantages, soulignant le rôle du projet dans la compensation des émissions de CO₂.
- Enfin, l'amélioration de la santé et du bien-être, résultant notamment de la filtration des polluants et de la réduction de l'incidence des maladies, contribue à hauteur de 7,8 %.

Le fait que la création d'emplois et les approvisionnements essentiels représentent chacun environ un tiers des avantages totaux démontre que le soutien aux moyens de subsistance et la sécurité des ressources constituent les principaux impacts de la restauration des mangroves. Les retombées économiques, l'atténuation des changements climatiques et les améliorations en matière de santé viennent renforcer la valeur globale de l'initiative fondée sur les infrastructures naturelles (IFN).

Figure 11. Répartition des avantages (à l'exclusion des coûts évités liés aux dommages causés aux infrastructures)



Source : Auteur.

Un examen approfondi des avantages et des coûts évités met en évidence plusieurs impacts majeurs générés par la restauration des mangroves.



Création d'emplois : La création d'emplois constitue un résultat central du projet, les activités de restauration générant 2,42 milliards de francs CFA. Les communautés locales sont directement impliquées dans les travaux de plantation, de suivi et d'entretien des mangroves, ce qui leur permet d'acquérir des compétences pratiques en gestion des pépinières et en techniques de restauration. Cette participation active favorise une gouvernance partagée des ressources naturelles et renforce la cohésion sociale au sein des communautés.

Activités économiques : Les activités économiques enregistrent une augmentation combinée de 1,62 milliard de francs CFA, provenant de la revitalisation de la pêche (90 millions de francs CFA), de l'amélioration de la production agricole (1,24 milliard de francs CFA) et de l'augmentation de la récolte de fruits de mer (290 millions de francs CFA). L'enrichissement des sols et l'amélioration de la recharge des nappes phréatiques favorisent des rendements agricoles plus stables et plus fiables, contribuant à la sécurisation des revenus des ménages. Parallèlement, l'expansion des habitats de nurseries de mangroves améliore la survie des juvéniles, ce qui bénéficie directement aux pêcheurs artisanaux. En renforçant les liens entre les chaînes de valeur terrestres et maritimes, la restauration des mangroves permet aux coopératives locales de transformer et de commercialiser les excédents agricoles et halieutiques, positionnant ces écosystèmes comme de véritables moteurs de croissance économique durable.

Approvisionnement en ressources essentielles : L'approvisionnement en ressources essentielles est considérablement renforcé, pour une valeur totale estimée à 2,38 milliards de francs CFA. Les ménages bénéficient de 1,36 milliard de francs CFA en denrées alimentaires destinées à la consommation directe, réduisant ainsi leur dépendance vis-à-vis des marchés. L'exploitation durable du bois contribue à hauteur de 1 milliard de francs CFA pour les besoins en combustible et en matériaux de construction, tandis que l'amélioration de la qualité de l'eau génère 20 millions de francs CFA en gains liés à l'accès à une eau potable plus sûre. En diminuant le temps consacré quotidiennement à la collecte des ressources, ces bénéfices libèrent du temps pour l'éducation et d'autres activités génératrices de revenus.

Santé et qualité de l'air : Les mangroves fonctionnent comme des filtres naturels, piégeant les particules atmosphériques et améliorant la qualité de l'air. Ce service écosystémique contribue à réduire l'incidence des maladies respiratoires, ce qui se traduit par une diminution des consultations médicales et des dépenses associées. Une population en meilleure santé présente également une productivité accrue et une fréquentation scolaire plus régulière, renforçant la résilience communautaire. Les économies réalisées grâce aux coûts de santé évités sont estimées à 610 millions de francs CFA.

Atténuation des changements climatiques : Enfin, la restauration des mangroves contribue à l'atténuation des changements climatiques et au financement carbone. La séquestration du carbone est évaluée à 850 millions de francs CFA, ouvrant des opportunités sur les marchés volontaires du carbone (voir le document d'orientation sur les instruments financiers pour les projets de restauration des mangroves).



Bénéfices et coûts évités pour les femmes : analyse fondée sur le genre

Au Sénégal, les femmes dépendent fortement des écosystèmes de mangroves pour leurs moyens de subsistance, mais elles sont confrontées à des vulnérabilités et à des contraintes disproportionnées. Principales récoltantes de coquillages, notamment d'huîtres, elles tirent une part importante de leurs revenus des ressources fournies par les mangroves (PMO-Natur'ELLES). Toutefois, le déclin d'environ 50 % des mangroves depuis les années 1980 a fortement compromis leur sécurité économique et aggravé la pauvreté (PMO-Natur'ELLES). Les mesures de conservation, en particulier les restrictions d'accès aux ressources dans les zones protégées, limitent souvent l'accès des femmes aux ressources essentielles et les excluent des processus décisionnels relatifs aux droits de récolte et au développement local.

La capacité d'adaptation des femmes est en outre entravée par un accès limité aux connaissances techniques, aux équipements et au capital financier, ainsi que par leur sous-représentation dans les structures de gouvernance. Ces facteurs réduisent leur aptitude à faire face efficacement aux chocs climatiques. Le renforcement de l'autonomisation des femmes à travers une gouvernance inclusive des infrastructures fondées sur la nature constitue donc un levier essentiel pour améliorer simultanément la conservation des écosystèmes et la résilience des femmes face aux changements climatiques (PMO-Natur'ELLES).

L'analyse de genre montre que les femmes bénéficient de 1,35 milliard de francs CFA en retombées économiques directes, soit environ 29 % de la valeur totale de 4,65 milliards de francs CFA générée par le projet (voir annexe A – CBA, figure 26). Ces bénéfices proviennent de quatre catégories principales : l'augmentation des revenus agricoles, l'élargissement des opportunités dans la pêche et la récolte de fruits de mer, la création d'emplois et la réduction des dépenses de santé. Ensemble, ces résultats mettent en évidence le rôle central des femmes dans les interventions fondées sur les infrastructures naturelles et les bénéfices concrets qu'elles en retirent (tableau 8).

Agriculture : Les femmes rurales représentent près de 70 % de la main-d'œuvre agricole du Sénégal et assurent environ 80 % de la production alimentaire nationale, soulignant leur rôle crucial dans la sécurité alimentaire et l'économie rurale. Malgré cette contribution majeure, elles restent souvent marginalisées dans les décisions relatives au choix des cultures, à l'allocation des ressources et aux pratiques de production (Alliance of Bioversity International & CIAT, 2024). Dans le cadre de la restauration des mangroves du Sine Saloum, les revenus agricoles constituent le principal bénéfice pour les femmes, représentant 63 % des bénéfices différenciés selon le genre, soit 850 millions de francs CFA. Ce résultat démontre le potentiel des infrastructures fondées sur la nature pour créer de nouvelles opportunités économiques pour les femmes.

Pêche et récolte de fruits de mer : La pêche artisanale et les activités connexes constituent une source essentielle de revenus pour les femmes. Tout au long de la chaîne de valeur, elles assurent des fonctions clés telles que le fumage, le salage, le nettoyage du poisson, le transport et la commercialisation sur les marchés locaux et régionaux (OceanRisk, 2023). Les revenus issus de la pêche et de la récolte de fruits de mer



représentent 290 millions de francs CFA, soit 21,5 % des bénéfices totaux différenciés selon le genre. Ces activités, traditionnellement gérées par les femmes, reposent sur une forte expertise technique et une autonomie significative. La restauration des habitats de nurseries de mangroves améliore directement ces moyens de subsistance, renforçant la sécurité économique des femmes.

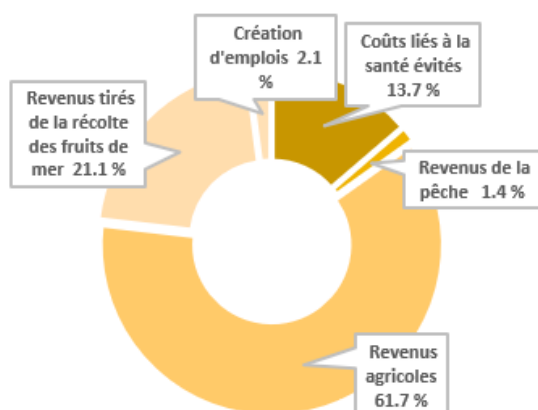
À l'inverse, la participation directe des femmes à la pêche artisanale formelle génère une valeur ajoutée plus limitée, estimée à 20 millions de francs CFA (1,5 % du total). Cette situation reflète les contraintes persistantes liées à l'accès au capital, aux infrastructures et aux normes socioculturelles. Néanmoins, ces revenus contribuent à la diversification des sources de subsistance et confirment l'engagement des femmes dans l'ensemble de la chaîne de valeur marine.

Santé : Les changements climatiques accroissent considérablement la charge financière liée aux soins de santé pour les femmes, en renforçant les obstacles d'accès aux services médicaux. Dans les zones rurales mal desservies, les femmes doivent parcourir entre 23 et 75 kilomètres pour atteindre le centre de santé le plus proche, un trajet rendu encore plus difficile par les inondations et la dégradation des infrastructures (International Budget Partnership, n.d.). La restauration des mangroves permet de réduire ces coûts grâce à l'amélioration de la qualité de l'air et à la filtration des polluants atmosphériques, diminuant ainsi l'incidence des maladies respiratoires. Les économies de santé associées sont estimées à 190 millions de francs CFA, soit 13,7 % des bénéfices totaux pour les femmes.

Création d'emplois : Les activités de restauration des mangroves génèrent également des opportunités d'emploi pour les femmes, notamment dans la production de plants, la plantation et l'entretien des sites restaurés. Ces activités représentent environ 30 millions de francs CFA de revenus directs pour les femmes. Au-delà de l'augmentation des revenus des ménages, cette participation renforce les capacités locales en matière de restauration écologique, favorise l'appropriation communautaire des projets et contribue à l'autonomisation économique des femmes, avec des effets positifs durables sur la sécurité des moyens de subsistance.



Figure 12. Composition des bénéfices supplémentaires et des coûts évités pour les femmes



Source : Auteur.

Tableau 5. Composition des bénéfices supplémentaires et des coûts évités pour les femmes

Bénéfices pour les femmes	CFA
Coûts évités liés à la santé	0,19
Revenus de la pêche	0,02
Revenus agricoles	0,85
Revenus tirés de la récolte des fruits de mer	0,29
Création d'emplois	0,03
Total	1,38

Source : Auteur.

En conclusion, l'analyse de genre montre que les femmes tirent des bénéfices socio-économiques substantiels de la restauration des mangroves, tout en continuant à faire face à des obstacles structurels importants. Bien qu'elles captent environ 1,38 milliard de francs CFA, soit près de 29 % de la valeur totale des bénéfices, la sécurité de leurs revenus demeure fragile en raison de la dégradation des écosystèmes, d'un accès limité aux ressources et de leur exclusion persistante des mécanismes de gouvernance. Le renforcement de la participation des femmes aux instances de gestion communautaire, de même que la levée des barrières techniques et financières auxquelles elles sont confrontées, constituent des leviers essentiels non seulement pour assurer la pérennité des écosystèmes de mangroves, mais aussi pour renforcer durablement la résilience économique des femmes et leurs moyens de subsistance face aux pressions croissantes exercées par les changements climatiques.



3.0 Conclusions

Le projet de restauration des mangroves génère de solides retombées économiques dans l'ensemble des scénarios analysés, avec des rapports bénéfices-coûts systématiquement supérieurs à 2:1, y compris dans les hypothèses les plus prudentes. La valeur économique de la restauration augmente avec l'intensification des risques d'inondation, dans la mesure où une efficacité de protection plus élevée et une fréquence accrue des inondations améliorent significativement la performance globale du projet.

Cette diversité de retombées confère aux infrastructures fondées sur la nature une importance stratégique particulière pour les communautés côtières confrontées aux effets des changements climatiques. Elles assurent à la fois la protection des infrastructures, le renforcement des moyens de subsistance et la durabilité environnementale à long terme.

La mise en œuvre de la restauration des mangroves dans les zones côtières du Sine Saloum présente un intérêt économique clair. Le coût total du projet est estimé à 4,41 milliards de francs CFA (actualisés à 3,5 %), tandis que la valeur actuelle nette (VAN) varie entre 5,46 milliards et 23,09 milliards de francs CFA selon les scénarios de fréquence des inondations et les niveaux de réduction des dommages aux infrastructures. Les rapports bénéfices-coûts s'échelonnent entre 2,2 et 6,23, ce qui signifie que chaque franc CFA investi génère entre 2,2 et 6,2 francs CFA en bénéfices et en dommages évités.

Dans les différents scénarios d'émissions climatiques, la restauration des mangroves affiche des performances positives à tous les niveaux d'efficacité de protection. Dans le scénario SSP5-8.5, une efficacité de protection de 2,5 % génère une VAN de 5,0 milliards de francs CFA, tandis que dans le scénario SSP3-7.0, une efficacité de 10 % porte la VAN à 13,13 milliards de francs CFA. Le rapport bénéfices-coûts suit une tendance similaire, passant de 2,13 dans le scénario SSP5-8.5 à faible efficacité à 3,97 dans le scénario SSP3-7.0 à forte efficacité. Ces résultats démontrent que l'augmentation de la fréquence des inondations et l'amélioration de la performance protectrice renforcent directement la rentabilité du projet.

Au-delà de la protection contre les inondations, le projet génère des bénéfices substantiels répartis entre la création d'emplois (30,7 %), l'approvisionnement en ressources essentielles (30,1 %), l'amélioration des revenus agricoles et halieutiques (20,6 %), la séquestration du carbone (10,7 %) et les économies en matière de santé (7,8 %). Ce portefeuille diversifié met en évidence le potentiel des infrastructures fondées sur la nature pour soutenir des moyens de subsistance durables, renforcer la résilience des communautés et contribuer à l'atténuation des changements climatiques.

L'autonomisation des femmes constitue un levier essentiel pour maximiser les bénéfices du projet et en garantir la durabilité à long terme. Bien que les femmes captent une part significative des bénéfices, estimée à 1,38 milliard de francs CFA, des obstacles persistants — notamment des droits limités, une exclusion des processus décisionnels et un accès restreint aux ressources financières et techniques — continuent de compromettre leur sécurité économique. Des interventions ciblées doivent donc promouvoir une gouvernance inclusive, renforcer les capacités et lever les contraintes institutionnelles. L'intégration pleine et effective des femmes dans la planification et la gestion de la restauration permettra



simultanément de renforcer la résilience des écosystèmes et d'améliorer les moyens de subsistance des populations les plus dépendantes des mangroves.

Les conclusions de cette évaluation offrent des enseignements précieux pour un large éventail de parties prenantes engagées dans la gestion et le développement des écosystèmes du Sine Saloum :

- **Pour les zones de conservation marine**, cette analyse plaide fortement en faveur d'investissements dans la restauration des mangroves visant explicitement à améliorer les services écosystémiques — tels que la protection contre les inondations et le stockage du carbone — tout en générant des bénéfices sociaux, économiques et environnementaux tangibles pour les communautés locales. L'intégration de ces valeurs multiples dans les budgets d'adaptation et les processus de planification permet d'optimiser la mise en œuvre et de garantir des retombées durables pour la nature et les populations.
- **Pour les agences environnementales et les autorités publiques**, ces résultats fournissent des preuves solides pour orienter et suivre la mise en œuvre des programmes de restauration des mangroves, une priorité centrale du Plan national d'adaptation (PNA) du Sénégal. L'initiative Natur'ELLES soutient directement la vision nationale d'un littoral productif, diversifié, propre et résilient aux changements climatiques (MEDD, 2022). La restauration des mangroves du Sine Saloum contribue aux quatre piliers stratégiques du PNA : solutions fondées sur la nature, adaptation communautaire, gouvernance inclusive et production de connaissances, la méthodologie SAVi renforçant ce dernier axe par la génération de données localisées.
- **Pour les communautés locales**, la restauration se traduit par des améliorations concrètes des moyens de subsistance, notamment grâce à la création d'emplois rémunérés, à un meilleur accès aux ressources halieutiques et agricoles et à une diversification des sources de revenus. Une gouvernance communautaire forte et inclusive est indispensable pour assurer une répartition équitable des bénéfices, renforcer la cohésion sociale et accroître la capacité d'adaptation face aux chocs climatiques futurs.
- **Pour le secteur privé et les bailleurs de fonds**, les projets de restauration des mangroves présentent un fort potentiel d'attractivité économique, en combinant des rendements issus de la production agricole et halieutique, des crédits carbone vérifiés et la création d'emplois. Les mécanismes de financement fondés sur les résultats, comme les partenariats public-privé et les marchés du carbone, offrent des modèles efficaces pour sécuriser la restauration et la gestion à long terme, tout en alignant les intérêts économiques sur le bien-être des écosystèmes et des communautés.

En résumé, la restauration des mangroves au Sénégal génère des bénéfices nets positifs et un rendement social élevé dans l'ensemble des scénarios climatiques et hydrologiques analysés. Le déploiement à grande échelle d'infrastructures fondées sur la nature constitue ainsi une stratégie robuste pour renforcer la protection côtière, soutenir le développement socio-économique et accroître la résilience face à l'intensification des impacts des changements climatiques.



Références

- Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie - ANSD. (n.d.). *Fatick (term 10)*. Retrieved [16/10/2025, 19:51], from <https://www.ansd.sn/taxonomy/term/10>
- Alliance of Bioversity International and CIAT (2024). Youth and women key to Senegal's farming future. Retrieved from <https://alliancebioversityciat.org/stories/youth-women-key-senegal-farming-future#:~:text=The%20researchers%20say%20that%20the,agriculture%20as%20an%20appealing%20occupation>
- Bouso, M. (2022, November 22). *Fisheries and aquaculture in Senegal* (Report No. SG2022-0015). U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Fisheries+and+Aquaculture+in+Senegal_Dakar_Senegal_SG2022-0015.pdf
- Carbon Brief. (2018). Explainer: How 'Shared Socioeconomic Pathways' explore future climate change. <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathwaysexplore-future-climate-change/>
- Chroust, G., & Finlayson, D. (2016). Anticipation and Systems Thinking: A Key to Resilient Systems. *Proceedings of the 60th Annual Meeting of the ISSS - 2016 Boulder, CO, USA*, 1(1), Article 1. <https://journals.iss.org/index.php/proceedings60th/article/view/2857>
- CityPopulation (2023). *Foundiougne (Department, Senegal) — population statistics, charts, map and location*. Retrieved [16/10/2025, 19:49], from https://www.citypopulation.de/en/senegal/admin/fatick/SNO302_foundiougne
- Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles (DAPSA). (2023). *Rapport de l'Enquête Agricole Annuelle (EAA) 2022-2023*. https://www.dapsa.gouv.sn/sites/default/files/Rapport_EAA%202022_2023_v1.pdf
- HM Treasury. (2020). *The Green Book: Central government guidance on appraisal and evaluation*. <https://www.gov.uk/government/publications/the-green-book-appraisal-and-evaluation-in-central-government/the-green-book-2020>
- ICD Afrique. (2018, December). Fiche projet n° 36-ter : Femmes coquillages. <http://www.icd-afrique.org/wp-content/uploads/2019/06/Fiche-Projet-n%C2%B0-36-ter-Femmes-Coquillages-decembre-2018.pdf>
- International Budget Partnership. (n.d.). Our strategy to shift the public resource system in Senegal, Retrieved from <https://internationalbudget.org/wp-content/uploads/senegal-strategy-doc.pdf>
- Jackson, M. C. (2019). *Critical systems thinking and the management of complexity: Responsible leadership for a complex world*. Wiley.



Japan International Cooperation Agency (JICA). (n.a).

https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11838547_o2.pdf

Meadows, D. H., & Wright, D. (2011). *Thinking in systems: A primer* (Nachdr.). Chelsea Green Pub.

Meinshausen, M., Nicholls, Z. R., Lewis, J., Gidden, M. J., Vogel, E., Freund, M., & Wang, R. H. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13(8), 3571-3605. <https://gmd.copernicus.org/articles/13/3571/2020/>

Moallemi, E. A., Hosseini, S. H., Eker, S., Gao, L., Bertone, E., Szetey, K., & Bryan, B. A. (2022). Eight Archetypes of Sustainable Development Goal (SDG) Synergies and Trade-Offs. *Earth's Future*, 10(9). <https://doi.org/10.1029/2022EF002873>

Nasir, N. N. (2025, February). *Flood frequency analysis using Gumbel and Log-Pearson Type-III distributions*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/394039711_Flood_Frequency_Analysis_Using_Gumbel_and_Log-Pearson_Type-III_Distributions

Ocean Risk & Resilience Action Alliance. (2023). Senegal factsheet. Retrieved from https://oceanrisk.earth/wp-content/uploads/2023/05/Senegal_factsheet.pdf

PMO Natur'ELLES en partenariat avec canada (n.a)

Probst, G., & Bassi, A. (2014). *Tackling Complexity: A Systemic Approach for Decision Makers*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351287647>

pS-Eau Sénégal. (2024, April). *Newsletter réseau Sénégal, secteur eau et assainissement*. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ps_eau_newsletter_reseau_senegal_avril_2024.pdf

Rennert, K., Kingdon, C., & Prest, B. C. (2025, March 13). *Social cost of carbon 101* (Explainer). Resources for the Future. <https://www.rff.org/publications/explainers/social-cost-carbon-101/>

Sanneh, E. S. (2018). *Systems thinking for sustainable development: Climate change and the environment*. Springer.

Senge, P. M. (2006). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization* (Rev. and updated ed). Random House Business Books.

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World* (HAR edition). McGraw-Hill Education.

UNEP. (2014). *Using Models for Green Economy Policymaking*. United Nations Environment Program. https://archive.un-page.org/files/public/content-page/unep_models_ge_for_web.pdf



Voulvoulis, N., Giakoumis, T., Hunt, C., Kioupi, V., Petrou, K. N., Souliotis, I., Vaghela, C., & Rosely, W. (2022). Systems thinking as a paradigm shift for sustainability transformation. *Global Environmental Change*, 75, 102544. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102544>

Wetlands International West Africa Coast and Gulf of Guinea (WIACO), (2025). Sustainable solution for the rehabilitation of saline lands in the Saloum Delta Biosphere Reserve. Scientific Research Publishing. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=142033>

Ministère de l'Environnement et du Développement Durable et de la Transition Écologique (MEDD). (2022). *Plan national d'adaptation pour la zone côtière du Sénégal (PNAZC): Rapport final* [National adaptation plan for Senegal's coastal zone: Final report]. Direction de l'Environnement et des Établissements Classés (DEEC). https://unfccc.int/sites/default/files/resource/PNA_du_secteur_des_zones_cotieres_2022_Senegal_FR.pdf



Annexe A. Résultats complémentaires

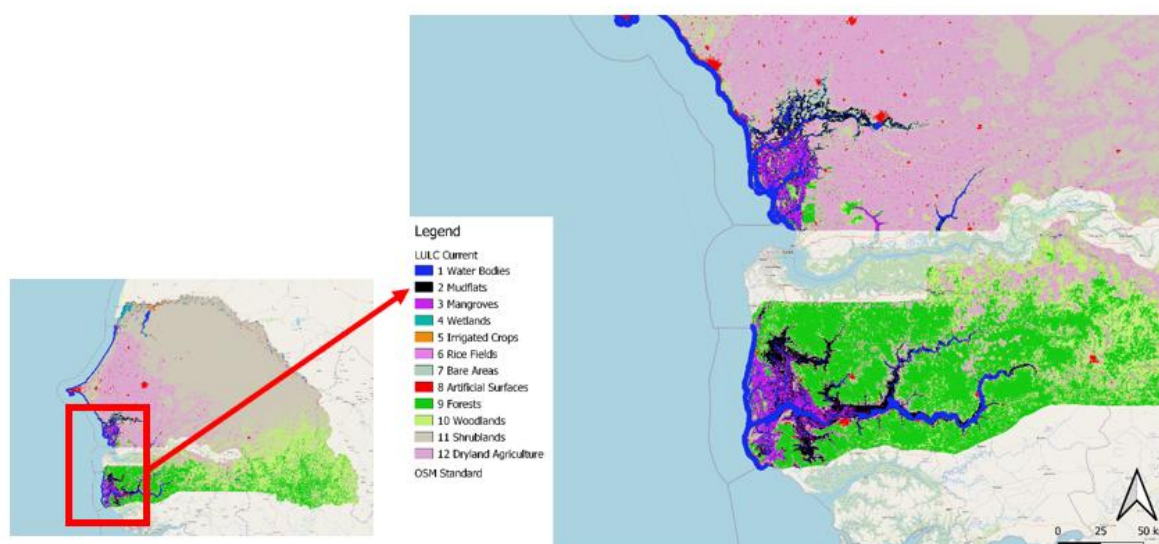
Analyse spatiale

L'analyse spatiale vise à évaluer les performances des IFN dans le contexte local en exploitant les données du système d'information géographique (SIG) et des modèles spatialement explicites. Ces outils, tels que le modèle InVEST (Integrated Valuation of Environmental Services and Trade Offs⁵), nous permettent de quantifier, cartographier et évaluer les services écosystémiques fournis par les systèmes naturels, qui comprennent les services de régulation, d'approvisionnement, culturels et de soutien. Les modèles spatiaux aident à identifier où ces services sont générés et comment ils évolueraient dans différents scénarios d'utilisation des terres. Ces informations spatiales sont essentielles pour déterminer la valeur des interventions IFN à différentes échelles, des zones urbaines individuelles à des paysages entiers, et fournissent des données cruciales pour l'analyse coûts-bénéfices intégrée.

Carte de la couverture terrestre

Nous avons utilisé une carte de la couverture terrestre de la NASA avec une résolution de 30 m (couvrant la période d'octobre 2022 à mai 2023) comme principale donnée d'entrée pour la suite de modèles InVEST.

Figure A1. Carte de la couverture terrestre



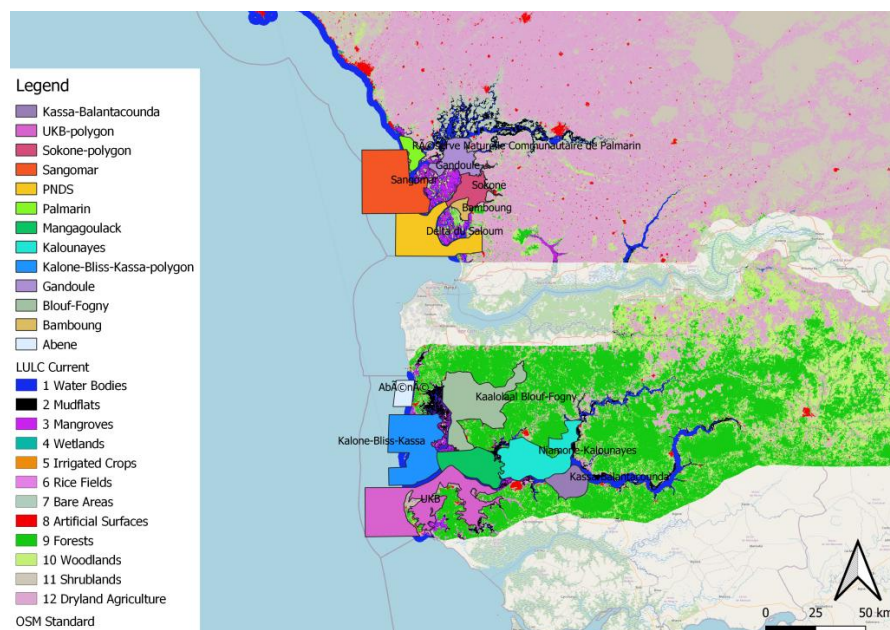
Source : InVEST.

⁵ Disponible à l'adresse <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>



Les zones étudiées dans le cadre de cette analyse sont indiquées dans la figure ci-dessous.

Figure A2. Zone d'étude

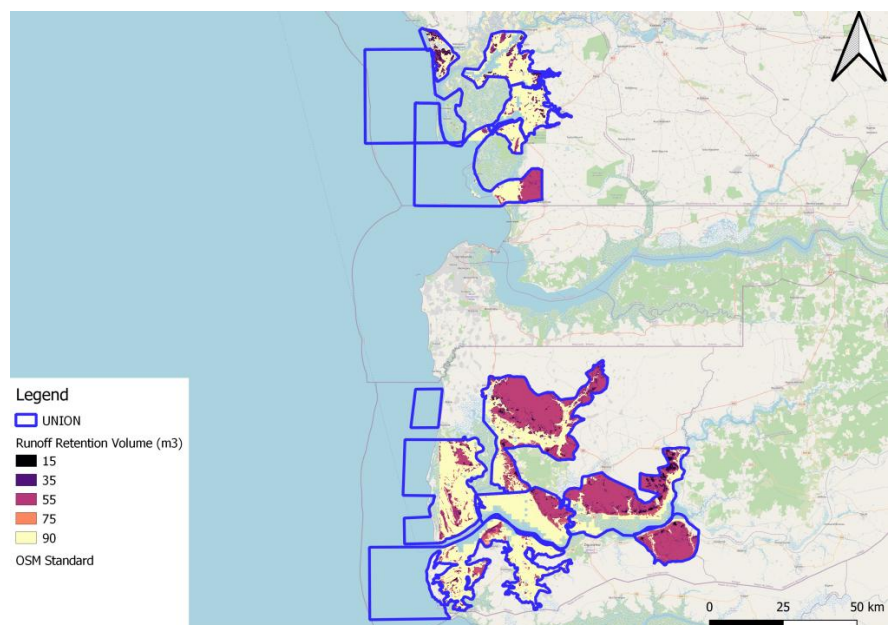


Source : InVEST.

Risque d'inondation

Le modèle calcule la réduction du ruissellement, c'est-à-dire la quantité d'eau de ruissellement retenue par pixel par rapport au volume de la tempête.

Figure A3. Zone à risque d'inondation



Source : InVEST.

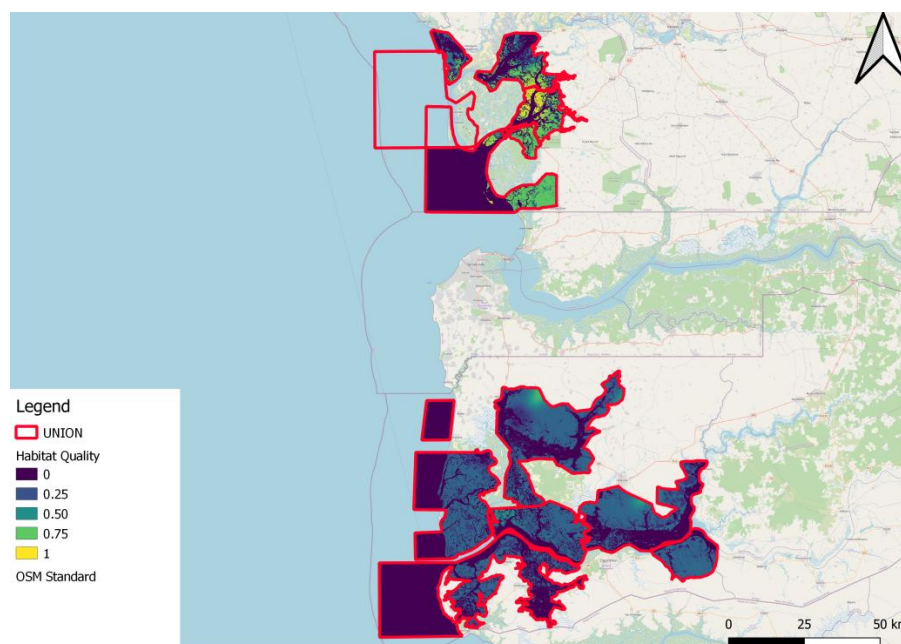


Le modèle InVEST Flood Risk indique que le volume de rétention dans le scénario actuel s'élève à 291 305 159 m³.

Qualité de l'habitat

Le modèle estime le niveau de qualité de l'habitat dans toute la zone étudiée.

Figure A4. Zone de qualité de l'habitat



Source : InVEST.

Le modèle InVEST Habitat Quality indique que la qualité moyenne de l'habitat dans la zone étudiée dans le scénario actuel est égale à 0,17, sur une échelle allant de 0 (niveau le plus bas de HQ) à 1 (niveau le plus élevé de HQ).

Exportation de sédiments

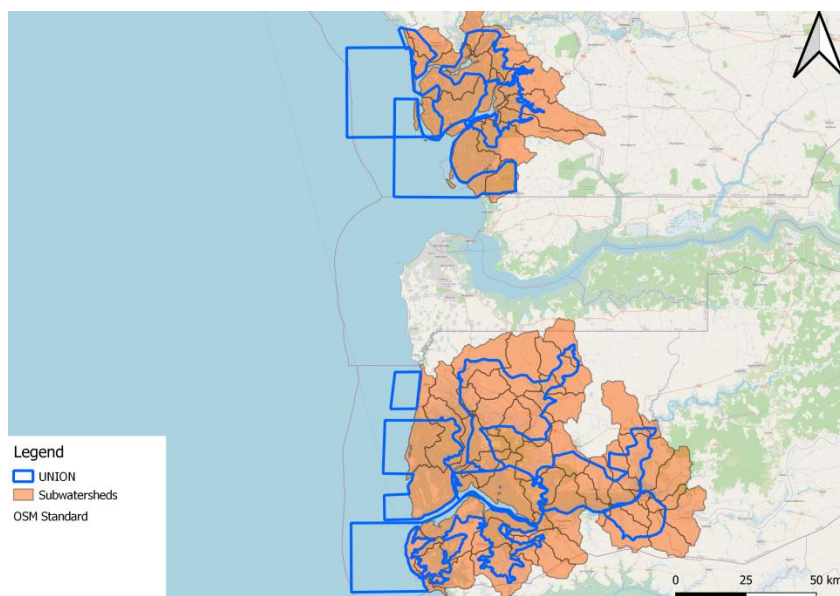
Le modèle estime le nombre de tonnes de sédiments évités exportés depuis la zone d'étude.

Le modèle InVEST d'exportation des sédiments indique que le nombre de tonnes de sédiments exportés dans la zone d'étude dans le scénario actuel s'élève à 205 610 tonnes.

Ce modèle ne génère aucun résultat spatial pertinent. Les modèles ont besoin des géométries des sous-bassins versants de la zone d'étude pour fonctionner, et les sédiments exportés sont modélisés pour ces zones.



Figure A5. Zone d'exportation des sédiments

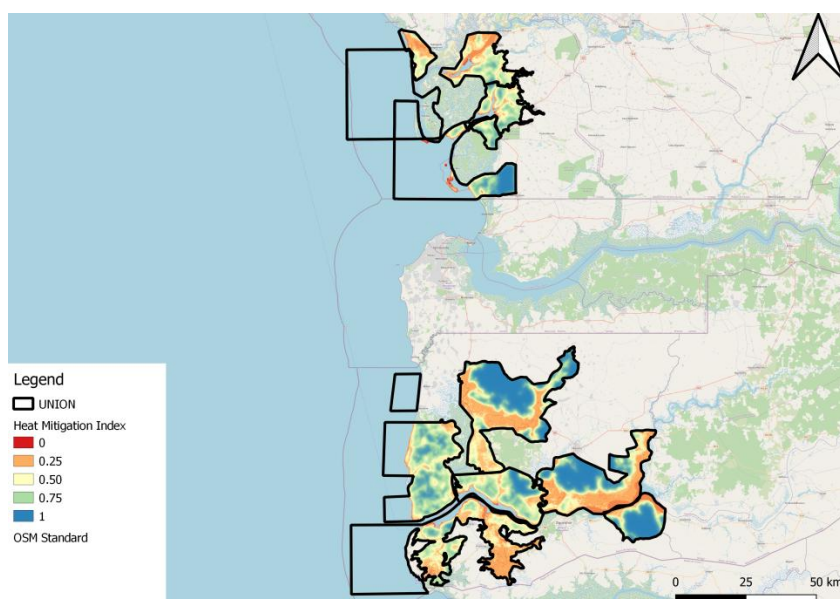


Source : InVEST.

Refroidissement

Le modèle InVEST Cooling indique que la température dans la zone d'étude dans le scénario actuel est égale à 32,58 °C, en tenant compte d'une température ambiante de 30,00 °C et d'un effet d'îlot de chaleur de 5,00 °C.

Figure A6. Zone du modèle de refroidissement



Source : InVEST.



Méthodologie

Tableau A1. Paramètres des scénarios d'inondations

Scénario d'inondations	Intensité moyenne (intensité 1 en X)	Intervalle de récurrence moyen	Fréquence annuelle des événements
Sévères	1 fois tous les 30 ans	Tous les 2 ans	1 événement par an
Modérées	1 fois tous les 30 ans	Tous les 5 ans	1 événement par an

Source : Auteur.

Le tableau 9 définit deux scénarios d'inondations (sévères et modérées) à l'aide de trois paramètres connexes pour décrire la fréquence et l'intensité prévues des inondations :

- **Intensité moyenne (intensité 1 en X) :** « 1 fois tous les 30 ans » signifie que l'ampleur de l'inondation en question, définie par un débit de pointe ou une profondeur d'eau spécifique, devrait statistiquement être atteinte ou dépassée en moyenne une fois tous les 30 ans. En termes hydrologiques, ce paramètre examine les enregistrements de débit à long terme et les adapte à une distribution de valeurs extrêmes, par exemple Gumbel ou Log-Pearson Type III (Nasir, N. N., 2025). On identifie ensuite le débit correspondant à la probabilité de dépassement annuel de 1/30 ($\approx 3,3\%$). Cette valeur de débit correspond à l'intensité d'une « crue trentenaire », qui représente l'amplitude de référence utilisée tout au long de l'analyse.
- **Intervalle de récurrence moyen :** il décrit la fréquence à laquelle les inondations se produisent réellement au fil du temps. Dans le scénario sévère, on suppose qu'une crue trentenaire se reproduit en moyenne tous les deux ans, ce qui reflète des facteurs tels que les changements climatiques qui rendent les grandes inondations plus fréquentes que ne le suggère leur rareté statistique. Dans le scénario modéré, on suppose que la même crue trentenaire se reproduit tous les cinq ans, ce qui représente une fréquence globale d'inondation plus faible.
- **Fréquence annuelle des événements :** il traduit l'intervalle de récurrence en occurrences annuelles attendues au cours des années où des inondations se produisent. Pour les deux scénarios, le modèle suppose que chaque année où des inondations se produisent, il y aura exactement un événement d'inondation de l'intensité spécifiée.

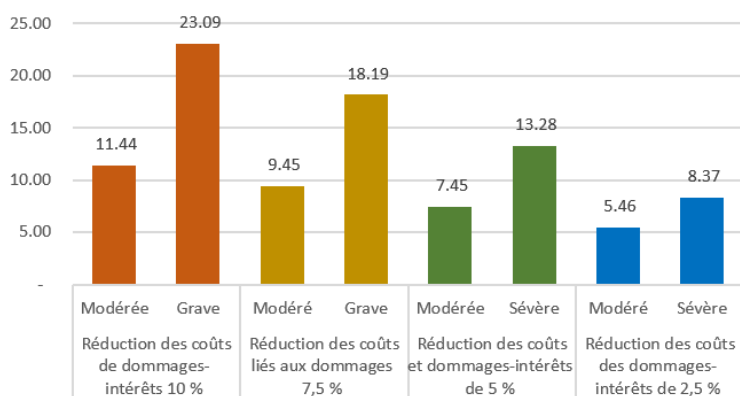
Résultats complémentaires de l'analyse coûts-bénéfices

Ce graphique (A7) compare la valeur actuelle nette (VAN) du projet selon deux scénarios de fréquence des inondations (modéré : inondations quinquennales ; sévère : inondations bisannuelles) et quatre niveaux de réduction des coûts liés aux dommages causés aux infrastructures (10 %, 7,5 %, 5 %, 2,5 %). Dans les conditions les plus optimistes (inondations tous les cinq ans et réduction des coûts de 10 %), la VAN atteint 11 443 046 154 CFA. Avec le même taux de réduction des coûts, mais des inondations sévères plus fréquentes, la VAN passe à 23 093 310 156 CFA, ce qui reflète une réduction plus importante des dommages



évités en cas d'inondations fréquentes. Lorsque la réduction des dommages supposée tombe à 7,5 %, les VAN sont respectivement de 9 448 110 280 CFA (inondations modérées) et 18 185 808 282 CFA (inondations sévères). Avec une réduction de 5 %, les VAN baissent respectivement à 7 453 174 406 CFA et 13 278 306 407 CFA ; avec une réduction de 2,5 %, elles baissent encore à 5 458 238 532 CFA et 8 370 804 532 CFA.

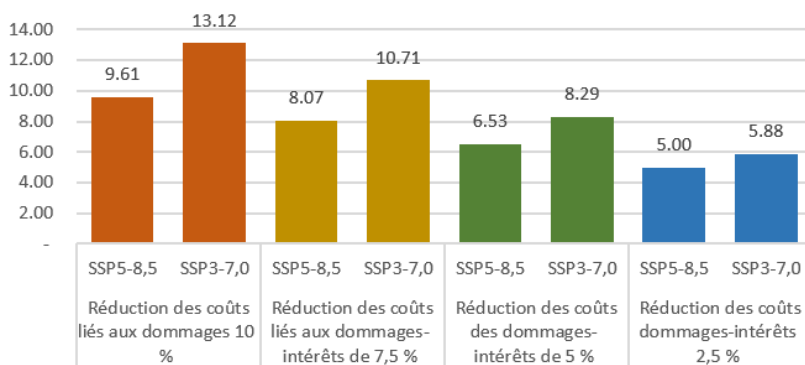
Figure A7. Valeur actuelle nette selon différents scénarios d'inondation, en milliards de CFA



Source : Auteur.

Ce graphique (A8) présente les VAN dans le cadre de deux scénarios socio-économiques partagés — SSP5-8,5 (émissions élevées) et SSP3-7,0 (émissions modérées) — pour les quatre mêmes taux de réduction des dommages aux infrastructures. Dans le cadre d'une réduction des dommages de 10 %, la VAN est de 9 606 237 334 CFA (SSP5-8.5) et de 13 121 568 225 CFA (SSP3-7.0). À 7,5 %, les VAN sont respectivement de 8 070 503 665 CFA et 10 707 001 833 CFA ; à 5 %, elles s'élèvent respectivement à 6 534 769 996 CFA et 8 292 435 441 CFA ; et à 2,5 %, elles s'élèvent respectivement à 4 999 036 327 CFA et 5 877 869 049 CFA. Des émissions plus faibles (SSP3-7.0) génèrent systématiquement des VAN plus élevées en raison d'impacts climatiques plus importants.

Figure A8. Valeur actuelle nette selon les scénarios climatiques SSP5-8,5 et SSP3-7,0, valeurs en milliards de CFA

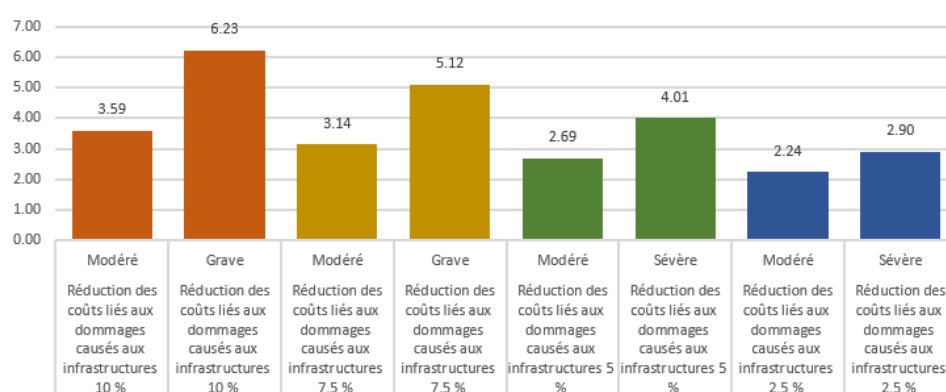


Source : Auteur



Ce graphique (A9) montre le rapport bénéfices-coûts (RBC) pour chaque combinaison de fréquence des inondations et de réduction des dommages. Dans tous les scénarios, les valeurs du RBC dépassent 2,0, ce qui indique des rendements solides. Le RBC le plus élevé est obtenu dans le cas d'inondations sévères (deux ans) avec une réduction des dommages de 10 %, soit environ 3,59. Dans le cas d'inondations moins sévères (cinq ans) avec une réduction de 10 %, le RBC est d'environ 3,18. À mesure que les taux de réduction diminuent à 7,5 %, 5 % et 2,5 %, les RBC diminuent dans les deux contextes d'inondation, mais restent supérieurs à 2,0 (par exemple, les inondations sévères avec une réduction de 2,5 % donnent un RBC d'environ 2,90).

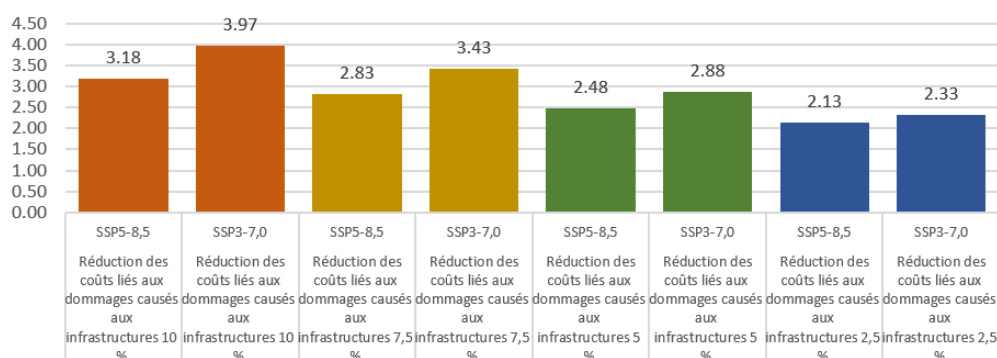
Figure A9. Rapport bénéfices-coûts dans différents scénarios d'inondation, valeurs en milliards de CFA



Source : Auteur.

Ce graphique (A10) illustre le RBC dans le cadre des scénarios SSP5-8.5 par rapport aux scénarios SSP3-7.0 pour les quatre taux de réduction des dommages. Avec une réduction de 10 %, le RBC est de 3,18 (SSP5-8.5) et de 3,43 (SSP3-7.0). Pour 7,5 %, les valeurs sont d'environ 2,48 et 2,88 ; pour 5 %, d'environ 2,13 et 2,33 ; et pour 2,5 %, d'environ 1,82 et 2,13. Les rapports bénéfices-coûts plus élevés dans le scénario SSP3-7.0 reflètent une meilleure rentabilité lorsque les émissions et les impacts associés sont plus faibles.

Figure A10. Rapport bénéfices-coûts dans les scénarios SSP, valeurs en milliards de CFA

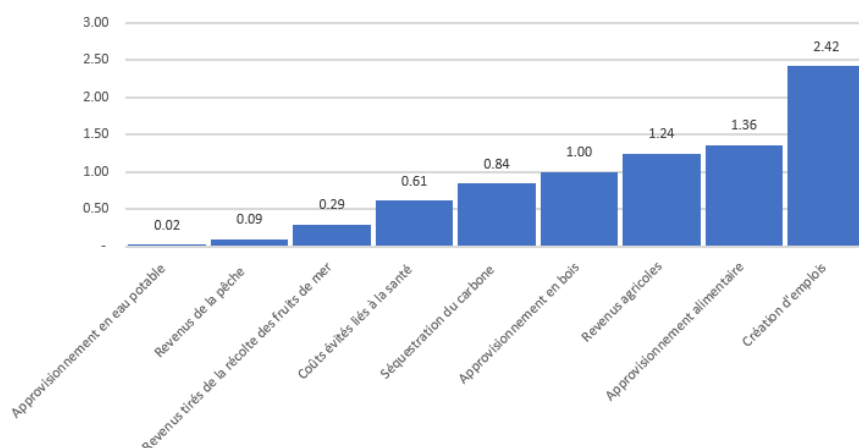


Source : Auteur.



Ce graphique (A11) classe neuf catégories de bénéfices et de coûts évités par ordre d'importance (en milliards de CFA) : création d'emplois (2,42), approvisionnement alimentaire (1,36), revenus agricoles (1,24), approvisionnement en bois (1,00), séquestration du carbone (0,84), coûts de santé évités (0,61), revenus tirés de la récolte de fruits de mer (0,29), revenus de la pêche (0,09) et approvisionnement en eau potable (0,02). Le total des bénéfices s'élève à 15,86 milliards de francs CFA, ce qui souligne que la création d'emplois et l'approvisionnement alimentaire sont les gains les plus importants hors infrastructures.

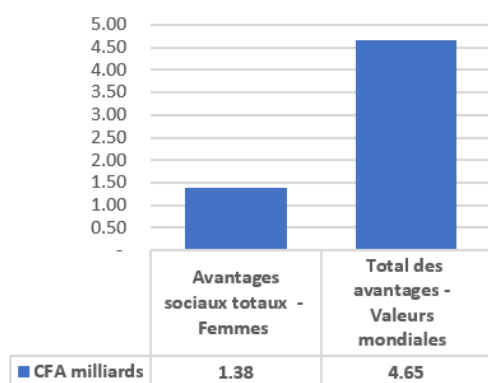
Figure A11. Répartition des bénéfices (à l'exclusion des coûts évités liés aux dommages aux infrastructures), valeurs en milliards de CFA



Source : Auteur.

Cette comparaison (A 12) montre les bénéfices totaux différenciés selon le genre : les femmes reçoivent 1,38 milliard de francs CFA, tandis que les bénéfices totaux globaux pour toutes les parties prenantes s'élèvent à 4,65 milliards de francs CFA. Cela souligne le fait que les femmes captent environ 30 % des bénéfices globaux du projet.

Figure A12. Bénéfices totaux pour les femmes par rapport aux bénéfices totaux (valeurs globales), valeurs en milliards de CFA



Source : Auteur.



Annexe B. Hypothèses de modélisation

Coûts de mise en œuvre (CAPEX)

Zone de restauration

La superficie restaurée correspond au nombre total d'hectares plantés chaque année dans chaque zone du projet. Les objectifs de plantation ont été définis à partir des données de l'UICN pour quatre sites : APAC Kolou Ndig, RNC Palmarin, AMP Sokone et AMP Bamboung. Ces superficies ont ensuite été additionnées afin d'obtenir la superficie restaurée annuelle.

En 2024, la plantation couvre 4,0 ha à Kolou Ndig, 0 ha à Palmarin, 22,0 ha à Sokone et 5,0 ha à Bamboung, soit un total de 31,0 ha. En 2025, les objectifs passent à 15,0 ha, 10,0 ha, 15,0 ha et 15,0 ha sur les mêmes sites, soit un total de 55,0 ha. En 2026, les plantations prévues sont de 10,0 ha, 10,0 ha, 15,0 ha et 10,0 ha, soit 45,0 ha au total.

Coût unitaire de plantation

Le coût unitaire de plantation comprend toutes les dépenses nécessaires à la création d'un hectare de forêt de mangrove, y compris les plants, la main-d'œuvre, la préparation du site et la livraison, sur la base des informations fournies par l'UICN. Ce coût est maintenu constant à 350 000 CFA par hectare pour toutes les années.

Coût de mise en œuvre de la restauration

Les coûts de mise en œuvre sont calculés en multipliant la superficie annuelle restaurée par le coût unitaire de plantation.

- En 2024 : $31,0 \text{ ha} \times 350\,000 \text{ CFA/ha} = 10\,850\,000 \text{ CFA}$
- En 2025 : $55,0 \text{ ha} \times 350\,000 \text{ CFA/ha} = 19\,250\,000 \text{ CFA}$
- En 2026 : $45,0 \text{ ha} \times 350\,000 \text{ CFA/ha} = 15\,750\,000 \text{ CFA}$

Ces coûts annuels sont directement intégrés dans l'analyse coûts-bénéfices en tant que dépenses d'investissement (CAPEX) pour les activités de restauration.

Coûts d'entretien (OPEX)

Les coûts d'exploitation et d'entretien couvrent toutes les activités annuelles nécessaires au maintien des zones restaurées et protégées, notamment la surveillance, l'entretien, la gestion communautaire et les autres activités de maintenance.



Zone conservée

Chaque année, la superficie totale sous gestion de conservation correspond à la somme des hectares actifs sur quatre sites : APAC Kolou Ndig, RNC Palmarin, AMP Sokone et AMP Bamboung.

- En 2024 : 150 ha + 2 500 ha + 1 000 ha + 1 500 ha = 5 150 ha
- En 2025 : 250 ha + 4 000 ha + 2 000 ha + 2 500 ha = 8 750 ha
- En 2026 : 362 ha + 5 000 ha + 3 000 ha + 4 500 ha = 12 862 ha

Coût unitaire de conservation

Le coût annuel moyen pour entretenir un hectare de mangrove restaurée est estimé à 20 000 CFA/ha/an.

OPEX annuel

Les coûts d'exploitation et d'entretien sont calculés en multipliant la superficie conservée par le coût unitaire.

- En 2024 : 5 150 ha × 20 000 CFA/ha/an = 103 000 000 CFA
- En 2025 : 8 750 ha × 20 000 CFA/ha/an = 175 000 000 CFA
- En 2026 : 12 862 ha × 20 000 CFA/ha/an = 257 240 000 CFA

Coûts évités liés aux dommages causés par les inondations

Dommages causés par les inondations aux bâtiments publics

Dans le scénario de référence, les coûts associés aux dommages causés par les inondations aux bâtiments publics dans les districts de Foundiougne et de Fatick sont comptabilisés uniquement les années où une inondation se produit.

Pour modéliser ces événements sur la période 2024–2050, le modèle utilise un paramètre de fréquence des inondations. Cette fréquence indique tous les combien d'années une inondation est supposée avoir lieu. Par exemple, si la fréquence retenue est d'une inondation tous les cinq ans, le modèle applique un événement d'inondation tous les cinq ans pendant toute la période d'analyse.

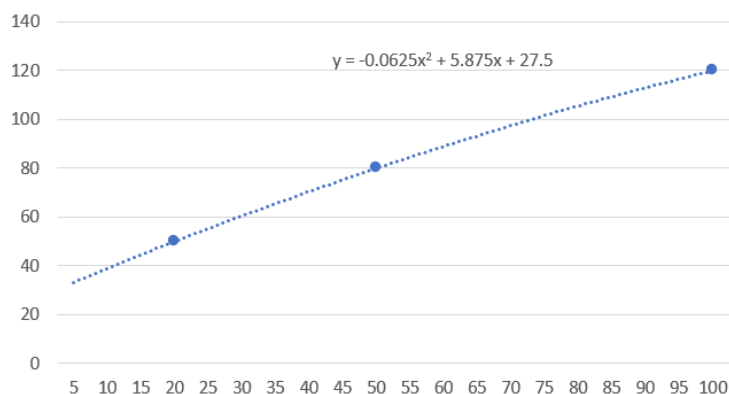
Les inondations sont donc supposées être réparties de manière régulière dans le temps. Cette hypothèse simplifie la modélisation, même si, dans la réalité, les inondations peuvent se produire de manière plus irrégulière. Le paramètre de fréquence peut être ajusté pour chaque simulation afin de tester différents scénarios.

À partir de trois moments d'inondation, correspondant à des périodes de retour de 1:20, 1:50 et 1:100, une relation a été estimée entre l'intensité de l'inondation et le nombre de



bâtiments publics touchés. Cette relation permet d'estimer combien de bâtiments publics seraient touchés selon différents niveaux d'inondation. Pour les bâtiments publics, elle est représentée par la fonction polynomiale suivante : $f_1(x) = -0,0625x^2 + 5,875x + 27,5$

Figure B1. Bâtiments publics



Source : Auteur.

Dans cette fonction, $f_1(x)$ représente le nombre de bâtiments publics touchés en cas d'inondation, et x représente l'intensité de l'inondation.

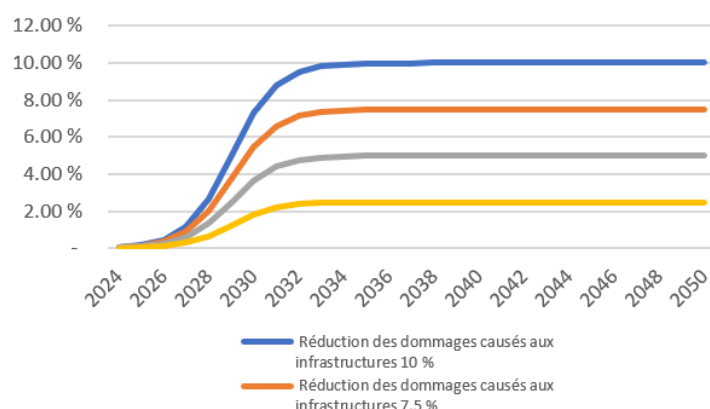
Une valeur de 450 000 CFA par mètre carré a été retenue pour les bâtiments publics, avec une hypothèse de dommages équivalente à 50 %. Le coût des dommages aux bâtiments publics en cas d'inondation est calculé comme suit :

Coût des dommages aux bâtiments publics en cas d'inondation = nombre de bâtiments publics touchés par inondation $\times$ taille moyenne des bâtiments publics touchés $\times$ valeur unitaire d'un bâtiment public $\times$ pourcentage de dommages retenu pour les bâtiments publics.

Dans le scénario IFN, quatre niveaux de réduction des dommages causés par les inondations aux infrastructures sont testés : 10 %, 7,5 %, 5 % et 2,5 %. Ces niveaux reflètent différentes hypothèses sur l'efficacité des interventions pour réduire les dommages liés aux inondations. Il est ensuite supposé qu'il faut 10 ans pour atteindre pleinement cette réduction, compte tenu du calendrier de mise en œuvre.



Figure B2. Réduction des dommages causés par les inondations aux infrastructures



Source : Auteur.

Dommages causés par les inondations aux bâtiments résidentiels

Dans le scénario de référence, les coûts liés aux dommages causés par les inondations aux bâtiments résidentiels dans les districts de Foundiougne et de Fatick sont comptabilisés uniquement les années où une inondation se produit.

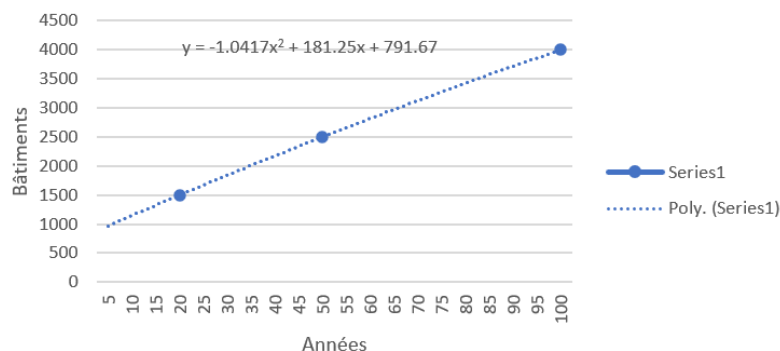
Pour modéliser ces coûts sur la période 2024–2050, le modèle utilise un paramètre de fréquence des inondations. Ce paramètre indique tous les combien d’années une inondation est supposée avoir lieu. Par exemple, si la fréquence retenue est d’une inondation tous les cinq ans, le modèle applique un événement d’inondation tous les cinq ans pendant toute la période d’analyse.

Les inondations sont donc supposées être réparties de manière régulière dans le temps. Cette hypothèse simplifie la modélisation, même si les inondations peuvent se produire de façon plus irrégulière dans la réalité. Le paramètre de fréquence peut être ajusté pour chaque simulation afin de tester différents scénarios.

À partir de trois scénarios d’inondation, correspondant à des périodes de retour de 1:20, 1:50 et 1:100, une relation a été estimée entre l’intensité de l’inondation et la superficie résidentielle touchée. Pour les bâtiments résidentiels, cette relation est représentée par la fonction polynomiale suivante : $f_1(x) = -1,0417x^2 + 181,25x + 791,67$



Figure B3. Bâtiments résidentiels



Source : Auteur.

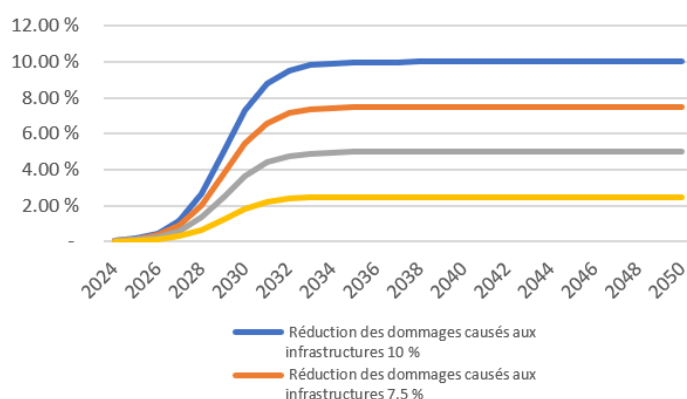
Dans cette fonction, $f_1(x)$ représente la superficie des bâtiments résidentiels touchés en cas d'inondation, mesurée en nombre de bâtiments, et x représente l'intensité de l'inondation.

Une valeur de 360 000 CFA par mètre carré a été retenue pour les bâtiments résidentiels, avec une hypothèse de dommages équivalente à 50 %. Le coût des dommages aux bâtiments résidentiels en cas d'inondation est calculé comme suit :

Coût des dommages aux bâtiments résidentiels en cas d'inondation = nombre de bâtiments résidentiels touchés par inondation × taille moyenne des bâtiments touchés × valeur unitaire d'un bâtiment résidentiel × pourcentage de dommages retenu pour les bâtiments résidentiels.

Dans le scénario IFN, quatre niveaux de réduction des dommages causés par les inondations aux infrastructures sont testés : 10 %, 7,5 %, 5 % et 2,5 %. Ces niveaux reflètent différentes hypothèses sur l'efficacité des interventions pour réduire les dommages liés aux inondations. Il est ensuite supposé qu'il faut 10 ans pour atteindre pleinement cette réduction, compte tenu du calendrier de mise en œuvre.

Figure B4. Réduction des dommages causés par les inondations aux infrastructures



Source : Auteur.

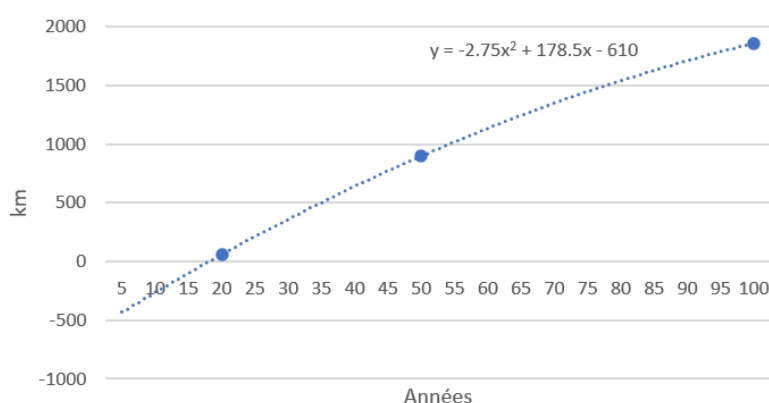


Domages causés par les inondations aux routes

Dans le scénario de référence, les coûts liés aux dommages causés par les inondations aux routes dans les districts de Foundiougne et de Fatick ne surviennent qu'en cas d'inondation. Sur la base de la fréquence des inondations, le modèle suppose une répartition homogène des événements sur la période 2024–2050. Ainsi, si la fréquence retenue est d'une inondation tous les y ans, le marqueur de fréquence des inondations passe à 1 tous les y ans pendant toute la période. Le paramètre de fréquence est choisi pour chaque simulation.

À partir de trois niveaux d'inondation, correspondant à des périodes de retour de 1:20, 1:50 et 1:100, une fonction a été extrapolée afin d'estimer la relation entre l'intensité de l'inondation et le nombre de kilomètres de routes touchées. Pour les routes, cette relation est représentée par la fonction polynomiale suivante : $f_1(x) = -2,75x^2 + 178,5x - 610$

Figure B5. Routes



Source : Auteur.

Dans cette fonction, $f_1(x)$ représente le nombre de kilomètres de routes touchées en cas d'inondation, et x représente l'intensité de l'inondation.

Une valeur de 350 000 CFA par kilomètre de route a été retenue, sur la base d'une source de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Cette valeur correspond à un coût moyen de dommages légers de 350 000 CFA par kilomètre de route touchée. L'hypothèse est prudente et inférieure aux coûts d'entretien courant observés au Sénégal, estimés entre 500 000 et 2 000 000 CFA/km pour les routes en terre. Elle ne représente donc pas un coût de réhabilitation ou de reconstruction, mais plutôt des interventions mineures après inondation.

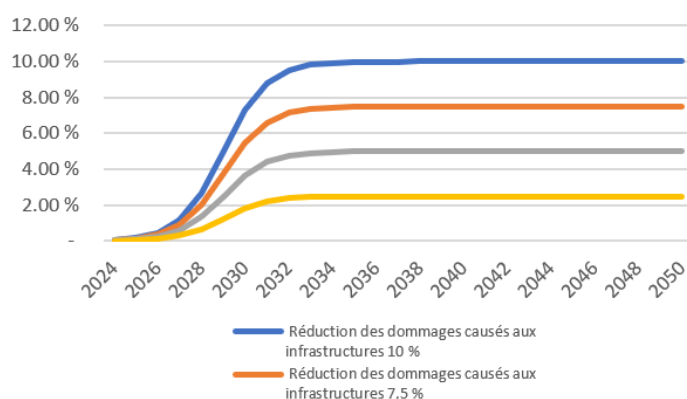
Le coût des dommages aux routes en cas d'inondation est calculé comme suit :

Coût des dommages aux routes en cas d'inondation = nombre de kilomètres de routes touchées par inondation × valeur unitaire des dommages par kilomètre de route.



Dans le scénario IFN, quatre niveaux de réduction des dommages causés par les inondations aux infrastructures sont testés : 10 %, 7,5 %, 5 % et 2,5 %. Ces niveaux reflètent différentes hypothèses sur l'efficacité des interventions pour réduire les dommages liés aux inondations. Il est ensuite supposé qu'il faut 10 ans pour atteindre pleinement cette réduction, compte tenu du calendrier de mise en œuvre.

Figure B6. Réduction des dommages causés par les inondations aux infrastructures



Source : Auteur.

Coûts évités liés à la santé

Dans le scénario de référence, les coûts de santé sont estimés à partir des données d'enquête de SOCODEVI et de l'ANSD pour les départements de Fatick et de Foundiougne. Les dépenses directes de santé sont évaluées à 25 000 CFA par ménage et par mois, soit :

$$25\,000 \text{ CFA/mois} \times 12 \text{ mois} = 300\,000 \text{ CFA/ménage/an}$$

Le modèle suppose que 20 % de ces dépenses sont attribuables à des problèmes de santé liés aux facteurs climatiques et environnementaux. Le coût annuel retenu est donc :

$$300\,000 \text{ CFA/ménage/an} \times 20 \% = 60\,000 \text{ CFA/ménage/an}$$

Afin d'éviter une surestimation et de mieux représenter la zone du projet, le modèle utilise un nombre ajusté d'environ 25 738 ménages, contre 77 222 ménages recensés initialement dans les deux départements. Les coûts annuels de santé attribuables aux facteurs climatiques et environnementaux sont ainsi estimés à :

$$25\,738 \text{ ménages} \times 60\,000 \text{ CFA/ménage/an} = 1\,544\,285\,556 \text{ CFA/an}$$

Analyse sensible au genre

Selon les données de l'ANSD, la taille moyenne d'un ménage est de 12 personnes, dont environ 3,7 femmes. Les femmes représentent donc :

$$3,7 \div 12 = 30,83 \% \text{ de la population}$$



Les coûts de santé attribués aux femmes sont calculés en appliquant cette proportion aux coûts globaux :

$$1\,544\,285\,556 \text{ CFA/an} \times 30,83 \% = 476\,154\,713 \text{ CFA/an}$$

Dans le scénario IFN, la restauration des mangroves devrait réduire progressivement les coûts de santé liés au climat et à l'environnement de 2,5 %, notamment grâce à l'amélioration de la qualité de l'air et à la réduction de la pollution.

Sources : enquêtes SOCODEVI ; données de l'ANSD pour Fatick et Foundiougne. L'attribution de 20 % des dépenses de santé aux facteurs climatiques et environnementaux constitue une hypothèse du modèle.

Dans le scénario IFN, une réduction de 2,5 % des coûts liés à la santé est supposée grâce à l'amélioration de la qualité de l'air et à la réduction de la pollution liées à la restauration des mangroves. Il est supposé qu'il faut 23 ans pour atteindre cette réduction de 2,5 %, compte tenu de la nature progressive des améliorations en matière de santé. Le modèle applique un taux de changement linéaire de 0,20 par an afin de refléter cette transition temporelle dans les économies réalisées.

Revenus de la pêche

Dans le scénario de référence, les revenus de la pêche sont estimés à partir des données nationales sur la pêche artisanale et des volumes de production régionaux des départements de Fatick et de Foundiougne. Selon l'USDA, en 2021, le secteur de la pêche artisanale du Sénégal a produit 348 208 tonnes pour une valeur de 24,89 millions de dollars, soit un prix moyen de 71,48 USD par tonne. Convertie en monnaie locale au taux de change de 642 CFA/USD, en janvier 2025, la valeur unitaire s'élève à 45 903 CFA par tonne.

Les données régionales de production indiquent 17 788 tonnes/an à Fatick, selon l'enquête SOCODEVI, et 9 633 tonnes/an à Foundiougne, selon l'enquête par questionnaire, soit un total de 27 421 tonnes/an. En supposant que 90,7 % de la production est destinée à la vente, selon l'enquête SOCODEVI, le volume commercialisable équivaut à 24 871 tonnes/an.

Le revenu total de la pêche est calculé comme suit :

Revenu total de la pêche = valeur unitaire par tonne × volume destiné à la vente.

- $45\,903 \text{ CFA/tonne} \times 24\,871 \text{ tonnes/an} = 1\,141\,642\,872 \text{ CFA/an}$

Pour l'analyse de genre, il est supposé que les femmes gèrent 40 % des activités de transformation du poisson, soit 10 968 tonnes, et vendent 50 % de leur poisson transformé, soit 5 484 tonnes.

Les revenus de la pêche pour les femmes sont calculés comme suit :



Revenus de la pêche pour les femmes = volume vendu par les femmes × prix unitaire par tonne.

- $484 \text{ tonnes/an} \times 45\,903 \text{ CFA/tonne} = 251\,740\,435 \text{ CFA/an}$

Dans le scénario IFN, il est supposé que la restauration des mangroves augmentera la productivité halieutique de 3,0 %, grâce à l'amélioration des habitats de reproduction et de la santé des écosystèmes. Il est supposé qu'il faut 25 ans pour atteindre cette augmentation de 3,0 %, compte tenu du temps nécessaire à la restauration des écosystèmes et à la croissance des populations de poissons. Le modèle applique un taux de changement linéaire de 0,20 par an pour refléter cette amélioration progressive des revenus de la pêche.

Revenus agricoles

Dans le scénario de référence, les revenus agricoles annuels sont estimés à partir des volumes de production observés dans les départements de Fatick et de Foundiougne, en combinant les superficies cultivées, les rendements, les volumes produits, les parts commercialisées et les prix de vente.

Production et revenus du riz

Pour le riz, les superficies cultivées sont estimées à 2 000 ha à Foundiougne et 6 980 ha à Fatick, soit un total de 8 980 ha, sur la base du rapport EAA 2022–2023 de la DAPSA. En appliquant un rendement moyen de 2 500 kg/ha/an, issu d'un rapport JICA, la production annuelle totale de riz est estimée à 22 450 000 kg/an.

En supposant que 95 % de cette production est destinée à la vente, soit 21 327 500 kg/an, et en retenant un prix moyen de 400 CFA/kg pour le riz local décortiqué, sur la base d'une information publiée par l'APS, les revenus agricoles annuels du riz sont estimés à 8 531 000 000 CFA/an.

Le calcul est le suivant :

$$\text{Revenu riz} = 22\,450\,000 \times 95 \% \times 400 = 8\,531\,000\,000 \text{ CFA/an}$$

Production et revenus du maïs

Pour le maïs, la production est estimée à 11 447 tonnes à Foundiougne et 45 325 tonnes à Fatick, soit une production totale de 56 772 tonnes, sur la base des données de l'ANSD, Situation économique et sociale de Fatick 2022–2023. Dans le tableur, cette production correspond à 56 772 440 kg/an.

En retenant l'hypothèse selon laquelle 70 % de la production est commercialisée, selon les enquêtes de terrain et les hypothèses de SOCODEVI, le volume vendu est de 39 740 708 kg/an. Avec un prix de vente de 393 CFA/kg, issu des enquêtes de terrain et du rapport EAA 2022–2023 de la DAPSA, les revenus agricoles du maïs s'élèvent à 15 618 098 244 CFA/an.



Le calcul est le suivant :

$$\text{Revenu maïs} = 39\,740\,708 \times 393 = 15\,618\,098\,244 \text{ CFA/an}$$

Production et revenus du mil

Pour le mil, les superficies cultivées sont estimées à 10 792 ha à Fatick et 28 426 ha à Foundiougne, soit 39 218 ha au total, selon l'ANSD, Situation économique et sociale de Fatick 2022–2023. En appliquant un rendement moyen de 1 324 kg/ha/an issu de cette même source, la production annuelle est estimée à 51 924 632 kg/an.

En supposant que 80 % de cette production est vendue, soit 41 539 706 kg/an, et en retenant un prix de 204 CFA/kg, selon les enquêtes de terrain, les revenus agricoles du mil sont estimés à 8 474 099 942 CFA/an.

Le calcul est le suivant :

$$\text{Revenu mil} = 41\,539\,706 \times 204 = 8\,474\,099\,942 \text{ CFA/an}$$

Production et revenus du sorgho

Pour le sorgho, la production est estimée à 9 630 tonnes à Fatick et 29 847 tonnes à Foundiougne, soit 39 477 tonnes au total, selon l'ANSD, Situation économique et sociale de Fatick 2022–2023. Cette valeur correspond à 39 476 800 kg/an.

En supposant que 80 % de la production est destinée à la vente, le volume commercialisé est de 31 581 440 kg/an. Avec un prix de vente retenu de 375 CFA/kg, selon le bulletin de l'ANACIM, les revenus agricoles du sorgho sont estimés à 11 843 040 000 CFA/an.

Le calcul est le suivant :

$$\text{Revenu sorgho} = 31\,581\,440 \times 375 = 11\,843\,040\,000 \text{ CFA/an}$$

Production et revenus de la pastèque

Pour la pastèque, la production est estimée à 19 950 tonnes à Fatick et 19 950 tonnes à Foundiougne, soit 39 900 tonnes au total, selon Agritrop/CIRAD. Cela correspond à 39 900 000 kg/an.

En supposant que 80 % de cette production est vendue, soit 31 920 000 kg/an, et avec un prix unitaire de 620 CFA/kg, selon FranceAgriMer/RNM, les revenus agricoles annuels de la pastèque atteignent 19 790 400 000 CFA/an.

Le calcul est le suivant :

$$\text{Revenu pastèque} = 31\,920\,000 \times 620 = 19\,790\,400\,000 \text{ CFA/an}$$



Au total, les revenus agricoles annuels de référence pour l'ensemble des cultures prises en considération — riz, maïs, mil, sorgho et pastèque — sont estimés à 64 256 638 186 CFA/an.

Analyse sensible au genre

S'agissant de l'analyse sensible au genre, le modèle suppose que les femmes gèrent 30 % de la production de riz, 20 % de la production de maïs, 70 % de la production de mil, 60 % de la production de sorgho et 50 % de la production de pastèque. Il est ensuite supposé que les femmes commercialisent 40 % de leur production de riz, 30 % de leur production de maïs, 75 % de leur production de mil, 70 % de leur production de sorgho et 65 % de leur production de pastèque. Ces pourcentages ont été initialement supposés par l'IISD, puis confirmés et affinés à partir des enquêtes de terrain avec SOCODEVI.

Sur cette base, les revenus agricoles annuels attribués aux femmes sont estimés à 1 077 600 000 CFA/an pour le riz, 1 338 694 135 CFA/an pour le maïs, 5 561 128 087 CFA/an pour le mil, 27 969 068 044 CFA/an pour le sorgho et 8 039 850 000 CFA/an pour la pastèque. Le revenu agricole total des femmes est donc estimé à 43 986 340 266 CFA/an.

La différence entre les prix du sorgho reflète des circuits de commercialisation différents. Le calcul du revenu général utilise un prix de gros ou à la ferme, tandis que l'estimation ventilée par genre reflète la participation des femmes à la vente au détail locale ou à des ventes à valeur ajoutée, où de plus petites quantités peuvent être vendues à des prix plus élevés. Cette valeur doit donc être interprétée comme une estimation indicative du revenu de marché des femmes lié au sorgho, plutôt que comme une part directement proportionnelle du revenu total du sorgho.

Dans le scénario IFN, la restauration des mangroves devrait augmenter la productivité agricole de 2,3 %, grâce à l'amélioration de la qualité des sols, à la rétention d'eau et à la réduction de l'intrusion saline.

Revenus de la récolte de fruits de mer – source de revenu pour les femmes

Dans le scénario de référence, les revenus annuels tirés de la récolte des huîtres par les femmes sont estimés à partir des données sur la participation, la productivité et le marché fournies par l'ICD-Afrique et par les enquêtes de terrain.

Les revenus de la récolte de fruits de mer pour les femmes sont calculés comme suit :

Revenus de la récolte de fruits de mer pour les femmes = nombre de femmes impliquées × récolte annuelle par femme × part vendue × prix unitaire.

Avec 2 000 femmes dans les zones de Fatick et Foundiougne, chacune récoltant 8 kg par jour pendant 120 jours, et en supposant que 95 % de la récolte est vendue à 500 CFA/kg, le revenu annuel est calculé comme suit :



Revenus de la récolte de fruits de mer = 2 000 femmes $\times$ 960 kg/femme $\times$ 0,95 $\times$ 500 CFA/kg = 912 000 000 CFA/an

Dans le scénario IFN, il est supposé que l'amélioration des écosystèmes côtiers augmente de 10 % les revenus des femmes provenant de la récolte de coquillages.

Approvisionnement en eau potable

Dans le scénario de référence, les volumes d'approvisionnement en eau potable et les revenus sont estimés à partir des taux de consommation et du nombre d'abonnés existants, sans intervention supplémentaire. Cette approche reflète l'efficacité actuelle du réseau et les structures tarifaires telles que rapportées par les enquêtes SOCODEVI.

La consommation annuelle moyenne par foyer raccordé est tirée du rapport SES 2022–2023 de l'ANSD pour chaque département :

- Fatick : 165 m³ par abonné et par an
- Foundiougne : 221 m³ par abonné et par an

Le nombre total d'abonnés, tiré du SES 2020–2021 de l'ANSD, est maintenu constant :

- Fatick : 7 069 abonnés
- Foundiougne : 3 397 abonnés

Les volumes annuels distribués dans chaque département sont ensuite calculés comme suit :

Volume total = taux de consommation moyen $\times$ nombre d'abonnés.

- Fatick : 165 m³/an $\times$ 7 069 abonnés = 1 166 385 m³/an
- Foundiougne : 221 m³/an $\times$ 3 397 abonnés = 750 737 m³/an

La somme de ces volumes donne un volume de référence régional de 1 917 122 m³/an. Pour monétiser ce service, le tarif actuel de l'eau dans la région, soit 250 CFA/m³, est appliqué.

Le revenu annuel est donc estimé comme suit :

$$1\,917\,122\text{ m}^3 \times 250\text{ CFA/m}^3 = 479\,280\,500\text{ CFA/an}$$

Dans le scénario IFN, les interventions sur les écosystèmes devraient permettre une augmentation nette de 3 % de l'eau potable disponible.

Approvisionnement alimentaire

Dans le scénario de référence, les valeurs d'approvisionnement alimentaire sont calculées à partir des revenus du secteur et des parts de vente supposées.



Pour la pêche, les revenus annuels s'élèvent à 251 740 435 CFA/an. Sur cette base, la valeur d'approvisionnement est estimée à 25 812 415 CFA/an.

Les valeurs d'approvisionnement agricole et alimentaire sont calculées comme suit :

- Pêche : $251\,740\,435 \text{ CFA/an} \times 90,7 \% = 25\,812\,415 \text{ CFA/an}$
- Riz : $8\,531\,000\,000 \text{ CFA/an} \times (1 - 95 \%) = 449\,000\,000 \text{ CFA/an}$
- Maïs : $15\,618\,098\,244 \text{ CFA/an} \times (1 - 70 \%) = 6\,693\,470\,676 \text{ CFA/an}$
- Millet : $8\,474\,099\,942 \text{ CFA/an} \times (1 - 80 \%) = 2\,118\,524\,986 \text{ CFA/an}$
- Sorgho : $11\,843\,040\,000 \text{ CFA/an} \times (1 - 80 \%) = 2\,960\,760\,000 \text{ CFA/an}$
- Pastèque : $19\,790\,400\,000 \text{ CFA/an} \times (1 - 80 \%) = 4\,947\,600\,000 \text{ CFA/an}$
- Récolte de coquillages : $912\,000\,000 \text{ CFA/an} \times (1 - 95 \%) = 48\,000\,000 \text{ CFA/an}$

En additionnant toutes les valeurs d'approvisionnement, l'approvisionnement alimentaire de référence total est estimé à 17 243 168 077 CFA/an.

Dans le scénario IFN, les interventions fondées sur la nature devraient améliorer l'approvisionnement alimentaire de 3,0 % une fois arrivées à maturité.

Approvisionnement en bois

Dans le scénario de référence, la valeur économique de l'approvisionnement en bois de chauffage est estimée à partir de la récolte annuelle moyenne de bois par ménage et du nombre total de ménages concernés. Le modèle retient une récolte annuelle de 551 kg de bois par ménage, selon le Rapport d'étude sur les données du bois-énergie au Sénégal de la FAO, ainsi qu'une consommation moyenne de 551 kg/an par ménage pour le bois de feu au Sénégal.

En appliquant cette valeur à 77 222 ménages, le volume total annuel de bois de chauffage est estimé à 42 549 322 kg/an.

Le calcul est le suivant :

$$\text{Récolte annuelle de bois} = 551 \text{ kg/ménage/an} \times 77\,222 \text{ ménages} = 42\,549\,322 \text{ kg/an}$$

En retenant un prix de vente de 150 CFA/kg, selon les enquêtes de terrain, la valeur annuelle de l'approvisionnement en bois de chauffage est estimée à 6 382 398 300 CFA/an.

Le calcul est le suivant :

$$\text{Valeur annuelle de l'approvisionnement en bois} = 42\,549\,322 \text{ kg/an} \times 150 \text{ CFA/kg} = 6\,382\,398\,300 \text{ CFA/an}$$

Ainsi, dans le scénario de référence, l'approvisionnement en bois de chauffage génère une valeur économique totale estimée à 6,38 milliards de CFA par an.



Dans le scénario IFN, les pratiques de gestion durable telles que les boisés communautaires et les zones tampons agroforestières devraient permettre d'augmenter l'approvisionnement en bois de chauffage de 5,0 % une fois pleinement mises en œuvre. Ce gain s'étale de manière linéaire sur 25 ans, à un taux de variation annuel de 0,20.

Création d'emplois

Dans le scénario IFN, les coûts de main-d'œuvre du projet sont estimés à partir des profils de coûts de reforestation et d'opérations et maintenance (O&M), sur la base des estimations et des données d'enquête de SOCODEVI. Deux hypothèses principales sont retenues : 40 % des coûts de reforestation sont affectés aux salaires, et 55 % des coûts d'opérations et de maintenance correspondent à des dépenses salariales.

Pour la reforestation, les coûts totaux dans le Sine Saloum sont estimés à 10 850 000 CFA en 2024, 19 250 000 CFA en 2025 et 15 750 000 CFA en 2026. En appliquant l'hypothèse selon laquelle 40 % des coûts de construction correspondent aux salaires, les salaires de reforestation sont estimés à 4 340 000 CFA en 2024, 7 700 000 CFA en 2025 et 6 300 000 CFA en 2026.

Les calculs sont les suivants :

- Salaires reforestation 2024 = $10\,850\,000 \times 40\% = 4\,340\,000$ CFA
- Salaires reforestation 2025 = $19\,250\,000 \times 40\% = 7\,700\,000$ CFA
- Salaires reforestation 2026 = $15\,750\,000 \times 40\% = 6\,300\,000$ CFA

Pour les opérations et la maintenance, le modèle retient des coûts de 103 000 000 CFA en 2024, 175 000 000 CFA en 2025 et 257 240 000 CFA en 2026. En supposant que 55 % de ces coûts correspondent à des salaires, le montant total des salaires liés aux activités d'O&M est estimé à 294 382 000 CFA sur la période.

Le calcul est le suivant :

$$\text{Salaires O\&M} = (103\,000\,000 + 175\,000\,000 + 257\,240\,000) \times 55\% = 294\,382\,000 \text{ CFA}$$

Sur cette base, le montant total des salaires retenu dans le modèle pour 2026 est obtenu en additionnant les salaires de reforestation en 2026 et le total des salaires liés aux opérations et à la maintenance.

$$\text{Salaire total} = 6\,300\,000 + 294\,382\,000 = 300\,682\,000 \text{ CFA}$$

Analyse de genre liée à l'emploi

S'agissant de l'analyse sensible au genre, les indemnités destinées aux femmes participant aux activités de reforestation et de conservation sont estimées à partir des données



SOCODEVI disponibles pour la Casamance, puis ajustées au Sine Saloum sur la base d'un ratio de surface.

Pour la reforestation, la superficie retenue est de 172 ha dans le Sine Saloum contre 207 ha en Casamance, selon les données SOCODEVI. Le modèle utilise ensuite une estimation de 445 femmes en Casamance et applique un ratio ajusté pour estimer le nombre de femmes concernées dans le Sine Saloum, soit 370 femmes. En retenant une indemnité unitaire de 5 000 CFA par femme, fondée sur une estimation basée sur les données de Casamance, le montant annuel des indemnités pour les femmes engagées dans les activités de reforestation est estimé à 1 848 792 CFA/an.

Pour la conservation, les superficies prises en considération sont de 16 900 ha dans le Sine Saloum et 28 796 ha en Casamance, selon SOCODEVI. En partant du même effectif de référence de 445 femmes en Casamance, le nombre de femmes concernées dans le Sine Saloum est estimé à 261 femmes. En appliquant une indemnité unitaire de 5 000 CFA par femme, le montant annuel des indemnités pour les femmes engagées dans les activités de conservation est estimé à 1 305 824 CFA/an.

Séquestration du carbone

Dans le scénario IFN, il est supposé que, juste après leur restauration, les mangroves séquestrent le carbone au rythme de 14,60 tCO₂/ha/an, selon les données fournies par Tayo. Les superficies restaurées retenues dans le modèle proviennent des données de SOCODEVI et s'élèvent à 31 ha en 2024, 55 ha en 2025 et 45 ha en 2026.

La séquestration annuelle de carbone est calculée comme le produit de la superficie restaurée par le taux de séquestration unitaire.

- En 2024 : 31 ha × 14,60 tCO₂/ha/an = 452,60 tCO₂/an
- En 2025 : 55 ha × 14,60 tCO₂/ha/an = 803,00 tCO₂/an
- En 2026 : 45 ha × 14,60 tCO₂/ha/an = 657,00 tCO₂/an

Pour valoriser cette séquestration, le modèle retient un coût social du carbone de 30 USD/tCO₂, selon Resources for the Future (RFF). Ce montant est converti au taux de change de 557,29 CFA/USD, utilisé le 02/07/2025 à 14h36, ce qui correspond à une valeur de 16 718,74 CFA/tCO₂.

Sur cette base, la valeur annuelle de la séquestration de carbone est estimée comme suit :

- En 2024 : 452,60 tCO₂ × 16 718,74 CFA/tCO₂ = 7 566 903,31 CFA
- En 2025 : 803,00 tCO₂ × 16 718,74 CFA/tCO₂ = 13 423 148,22 CFA
- En 2026 : 657,00 tCO₂ × 16 718,74 CFA/tCO₂ = 10 984 212,18 CFA



Au total, les superficies restaurées entre 2024 et 2026 atteignent 131 ha. En supposant qu'après 2026 l'ensemble de ces surfaces continue de séquestrer le carbone au même rythme de 14,60 tCO₂/ha/an, la séquestration annuelle totale après 2026 est estimée comme suit :

$$131 \text{ ha} \times 14,60 \text{ tCO}_2/\text{ha}/\text{an} = 1\,912,60 \text{ tCO}_2/\text{an}$$

En appliquant la même valeur du carbone, soit 16 718,74 CFA/tCO₂, cela correspond à une valeur annuelle de :

$$1\,912,60 \text{ tCO}_2/\text{an} \times 16\,718,74 \text{ CFA}/\text{tCO}_2 = 31\,976\,268,82 \text{ CFA}/\text{an}$$

Ainsi, dans le scénario IFN, la valeur économique de la séquestration carbone est estimée à 7 566 903,31 CFA en 2024, 13 423 148,22 CFA en 2025, 10 984 212,18 CFA en 2026, puis 31 976 268,82 CFA/an après 2026, lorsque l'ensemble des 131 ha restaurés est pris en compte.

© 2026 International Institute for Sustainable Development
Publié par l'Institut international du développement durable