Projet d'appui pour le renforcement des capacités en économie de la gestion durable et de la dégradation des terres

Projet de coopération entre le Laboratoire Terres Paysages et Développement (LLandDev) du Département des Eaux et Forêts, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA-Forêts) et la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, représenté par l'initiative Economics of Land Degradation (ELD) du projet sectoriel protection des sols, désertification, gestion durable des terres (SV BoDeN) et par le projet mondial de Protection et réhabilitation des Sols pour améliorer la sécurité alimentaire (ProSol) composante pays Madagascar dans le cadre de l'Initiative spéciale « Un seul monde sans faim » du ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ)

Rapport de Projet Madagascar

Laboratoire Terres Paysages et Développement (LLandDev), Département des Eaux et Forêts, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA-Forêts)

Mai 2020

Mandaté par :

- ELD Secretariat

info@eld-initiative.org

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 36

53113 Bonn, Germany

- Projet mondial de « Protection et réhabilitation des sols pour améliorer la sécurité alimentaire / composante pays Madagascar – ProSol Madagascar » dans le cadre de l'Initiative spéciale « Un seul monde sans faim » du ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ)

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

BP 869. 101 Antananarivo

Madagascar

giz-madagaskar@giz.de

Projet d'appui pour le renforcement des capacités en économie de la gestion durable et de la dégradation des terres

Rapport de Projet Madagascar

Auteurs :

RAKOTO RATSIMBA Harifidy, LLandDev

RALALALARIMANANA Herivololona, MEDD, Point Focal CNULCD

ANDRIAMANANTSOAVINA Lova Toky Fandresena, LLandDev

ANDRIANIRINARIMANANA Miray, LLandDev

RAHERINJATOVOARISON Dimby, LLandDev

RAKOTOVAO Jimmy Andrianina, LLandDev

RANDRIAMBOLOLONA Ravaka, LLandDev

RATSIMANDRESIARIVO Maya Disraëli, LLandDev

RATSIMANDRESY Rajira Nambinintsoa, LLandDev

TAHINTSOA Gaston Hedwigino, LLandDev

Avec la contribution de :

HERNANDEZ Sara, Sara Hernandez Consulting

CLAISE Fanny, Sara Hernandez Consulting

GOLDAMMER Johann, Global Fire Monitoring Centre

PICKARDT-WILLIAMS Tanja, ProSol GIZ Madagascar

NAMBENA Jutta, ProSol GIZ Madagascar

PEROUSSET Emilie, ProSol GIZ Madagascar

RABEMANANJARA Andrianantoanina Henintsoa Mamy, ProSol GIZ Madagascar

RATOVONIRINA Mario Elie, ProSol GIZ Madagascar

SAHOLIMANANALINTSOA Nelly Florence Marie de la Sal, ProSol GIZ Madagascar

ZEMEK Oliver, ProSol GIZ Madagascar

Table des matières

Liste des acronymes vi
Liste des figures viii
Liste des tableaux x
Résumé exécutif xi
1. Introduction générale 1
1.1. Contexte national 3
1.2. Concept-clés du projet 6
1.3. Approche méthodologique 7
2. Gestion des feux à l'échelle régionale 9
2.1. Occupations du sol de la région 9
2.2. Carbone organique du sol 12
2.2.1. Stock de carbone organique du sol de la région Boeny 13
2.2.2. Différents paramètres influençant le taux de COS 13
2.3. Rôles joués par le feu dans la région Boeny 16
2.3.1. Influence du feu sur les occupations du sol 19
2.3.2. Impacts du feu sur le COS 20
2.4. Modélisation d'un scénario de réduction des feux au niveau des occupations des sols 22
2.5. Modélisation des scénarii d'action et d'inaction liés au stockage de COS 24
3. Gestion des feux à l'échelle de l'exploitation agricole 26
3.1. Système d'exploitation agricole 26
3.1.1. Moyen de subsistance 27
3.1.2. Forme de sécurisation foncière 27
3.2. Rôles des feux dans l'exploitation agricole 28
3.2.1. Influence sur le système d'exploitation 28
3.2.2. Influence sur le COS 31
3.3. Modélisation des scénarii d'action et d'inaction 32
4. Implications pour le renforcement de capacités et l'accompagnement des acteurs 34
5. Conclusions et perspectives 36
6. Références 38

Annexe 1 : Méthodologie détaillée I
Partie A1-1 : Présentation de la région Boeny I
Partie A1-2 : Gestion des feux à l'échelle régionale IV
A1-2.1. Analyse de l'occupation des sols IV
A1-2.2. Analyse du carbone organique des sols VIII
A1-2.2.1 Collecte des échantillons de sol sur terrain VIII
A1-2.2.2 Méthode de prélèvement X
A1-2.2.3 Analyse du carbone du sol par la méthode de perte au feu ou LOI (Loss On Ignition) XI
A1-2.2.4 Traitement des données XIII
A1-2.2.5 Calcul du stock de COS total de la région XIII
A1-2.3. Rôle des feux à dans la région XIII
A1-2.3.1 Détection des feux et impact sur les occupations du sol XIII
A1-2.3.2 Impact sur le COS de la région XVI
A1-2.4. Modélisation d'un scénario de réduction des feux XVI
A1-2.4.1 Concernant l'impact sur les occupations des sols XVI
A1-2.4.2 Estimation du bénéfice de l'action lié au stockage du carbone des sols XX
Partie A1-3. Gestion des feux à l'échelle de l'exploitation agricole XXI
A1-3.1. Analyse du système d'exploitation agricole XXI
A1-3.1.1 Choix des ménages enquêtés XXI
A1-3.1.2 Analyse des données d'enquêtes XXVIII
A1-3.2. Rôles des feux dans l'exploitation agricole XXIX
A1-3.2.1 Influence sur le système d'exploitation XXIX
A1-3.2.2 Influence sur le taux de COS XXIX
A1-3.3. Modélisation des scenarii de réduction des feux sur le revenu des ménages .. XXIX
A1-3.3.1 Estimation du coût de l'inaction lié à la baisse de l'EBE XXIX
A1-3.3.2 Estimation du coût de l'action XXXI
A1-3.3.3 Bénéfice de l'action et retour d'investissement XXXI
Annexe 2 : Carte de répartition des points d'échantillonnage XXXII
Annexe 3 : Carte d'occupation du sol 2008 et 2014 XXXIII
Annexe 4 : Différentes classes de sol selon la CPCS (1967) XXXV
Annexe 5 : Résultats des tests statistiques sur l'analyse stock de COS XXXIX

Annexe 6 : Surface brûlée par type de feu intra-annuel XLV
Annexe 7 : Matériels utilisés pour l'analyse en laboratoire XLVI
Annexe 8 : Arrêté d'habilitation du Parcours Terre, Paysage et Développement XLVII
Annexe 9 : Syllabus du Parcours Terre, Paysage et Développement XLVIII
Annexe 10 : Programme de recherche du Parcours Terre, Paysage et Développement LXXXII
Annexe 11 : Note de conseil de gouvernement liée à la Communication Verbale relative à la Note Politique et ligne d'actions sur la gestion des feux à Madagascar XCIII
Annexe 12 : Note Politique et ligne d'actions sur la gestion des feux à Madagascar..... XCIV
Annexe 13 : Questionnaire pour les enquêtes des ménages..... CV

Liste des acronymes

°C	degré Celsius
AP	Aires Protégées
BAI	Burn Area Index
BAU	Business As Usual
cm	centimètre
CNULCD	Convention des Nations Unies sur la Lutte Contre la Désertification *(UNCCD : United Nations Convention to Combat Desertification)*
CO2	Dioxyde de Carbone
COS	Carbones Organiques du Sol
DGF	Direction Générale des Forêts
EBE	Excédent Brut d'Exploitation
ELD	Economics of Land Degradation
g	gramme
GEE	Google Earth Engine
GFMC	Global Fire Monitoring Centre
GPS	Global Positioning System
ha	hectare
km	kilomètre
LCM	Land Change Modeler
LLandDev	Land, Landscape and Development research lab
LOI	Loss On Ignition
LPD	Land Productivity Dynamics (Dynamique de productivité des terres)
m	mètre
MEDD	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
MgC	1 Mégagramme de Carbone = 1 Tonne de Carbone
MIR	Moyen InfraRouge
mm	millimètre
MNP	Madagascar National Parks
MO	Matières Organiques
NBR	Normalized Burn Ratio

NDT	Neutralité de la Dégradation des Terres
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (indice de végétation par différence normalisé)
NIR	Near InfraRed band (Proche InfraRouge ou PIR)
NPK	Azote, phosphore et potassium
ODD	Objectif de Développement Durable
ONE	Office National pour l'Environnement
PAN	Plan D'Action National
PNB	Produit National Brut
ProSOL	Projet mondial de protection et réhabilitation des sols pour améliorer la sécurité alimentaire / composante pays Madagascar
RN	Route Nationale
ROI	Region Of Interest
SAC	Schéma d'Aménagement Communal
SIG	Système d'Informations Géographiques
SNRPF	Stratégie Nationale pour la Restauration des Paysages Forestiers
SRAT	Schéma Régional de l'Aménagement du Territoire
SV BoDeN	Projet sectoriel protection des sols, désertification, gestion durable des terres
SWIR	Short-Wave InfraRed
USD	United States Dollar
WCS	Wildlife Conservation Society

Liste des figures

Figure 1 : Proportion des surfaces par occupation du sol dans la Région de Boeny (2018) 10
Figure 2: Occupations du sol dans la Région Boeny en 2018 11
Figure 3 : Principaux bénéfices de la gestion durable du carbone du sol à diverses échelles 12
Figure 4 : Taux de COS en fonction des différentes occupations du sol 13
Figure 5 : Taux de COS suivant les différents types de sol 15
Figure 6 : Taux de COS des parcelles agricoles en fonction des différentes fréquences de feux observées entre 2013-2018 16
Figure 7 : Surface brûlée totale annuelle pour la période 2013 – 2018 16
Figure 8 : Fréquence de passage des feux 2013-2018 dans la Région Boeny 17
Figure 9 : Saisonnalité des feux en 2018 dans la Région Boeny 18
Figure 10 : Proportion des surfaces par passages de feux 19
Figure 11 : Proportion de l'origine et de la propagation des feux en 2018 20
Figure 12 : Taux de COS par occupation du sol en fonction de la fréquence des feux observée dans la région de Boeny pour les années 2013-2018 21
Figure 13 : Modélisation des occupations du sol 2025, 2030 et 2035 avec réduction des feux de 2% par an 23
Figure 14 : Comparaison du stock de COS si action et inaction 24
Figure 15 : Perte en COS si aucune action n'est prise 24
Figure 16 : Coût de l'inaction liée au stockage de carbone du sol 25
Figure 17 : Retour d'investissement généré par l'action 26
Figure 18 : Répartition des ménages selon les activités entreprises 27
Figure 19 : Différentes valeurs de sécurisation foncière dans la région Boeny 28
Figure 20 : Répartition des moyennes en fréquence de feux selon les formes de sécurisation foncière 28
Figure 21 : Répartition des ménages par rapport à l'importance de la vente des produits agricoles 30
Figure 22 : Moyenne de fréquence des feux par proportion de vente des produits agricoles 30
Figure 23 : Variation de l'EBE en fonction de la fréquence de feux observés pour 2013-2018 31

Figure 24 : Comparaison de la valeur de l'EBE (en Euro) si action et inaction 32
Figure 25 : Coût de l'inaction (en Euro) liée à l'EBE des ménages 33
Figure 26 : Retour d'investissement généré par l'action 33
Figure 27: Situation géographique de la Région Boeny I
Figure 28 : Arbre méthodologique pour l'analyse de l'occupation des sols V
Figure 29 : Forme de la placette X
Figure 30 : Procédés de collecte des échantillons de sol à l'aide du cylindre en inox dans les 10 premiers cm du sol XI
Figure 31 : Procédés de collecte des échantillons de sol à l'aide du cylindre en inox dans les 10 -30 cm du sol XI
Figure 32 : Arbre méthodologique pour la détection des feux (surfaces brulées et fréquence de feux) XV
Figure 33 : Arbre méthodologique pour la modélisation spatiale des actions et inactions XVIII
Figure 34 : Arbre méthodologique pour la dynamique de la productivité des terres XXIII
Figure 35: Proportion des surfaces par type de productivité des terres dans la région Boeny (2018) XXV
Figure 36: Carte de dynamique de productivité des terres 1989-2018 XXVII
Figure 37 : Illustration de l'EBE XXVIII

Liste des tableaux

Tableau 1 : Définition des types d'occupation du sol selon le GIEC 9
Tableau 2 : Stock total de COS par occupation du sol (Région Boeny, 2019) 14
Tableau 3 : Répartition des surfaces agricoles brûlées par fréquence de feu 19
Tableau 4 : Perte de COS due au feu pour les parcelles agricoles de la région Boeny 21
Tableau 5 : Surfaces des terres cultivées et des forêts issues des modélisations 22
Tableau 6 : EBE par type de sécurisation foncière 29
Tableau 7 : Superficie des six districts de la Région Boeny II
Tableau 8: Matrice de confusion pour l'occupation des sols VI
Tableau 9 : Répartition des points d'échantillonnage par occupation du sol, type de sol et par toposéquence IX
Tableau 10 : Matrice de confusion pour la carte des feux en 2018 XVI
Tableau 11 : Pondération des paramètres pour la modélisation spatiale XIX
Tableau 12 : Estimation de l'échantillon représentatif XXII
Tableau 13 : Classe de dynamique de productivité des terres suivant les valeurs du score Z XXIV
Tableau 14 : Analyse de l'échantillonnage XXVI

Résumé exécutif

La dégradation des terres constitue un obstacle important face au développement durable des communautés locales à l'internationales mais aussi à Madagascar. Selon la banque mondiale (2011), le feu est un des facteurs majeurs entrainant une dégradation progressive des terres à Madagascar, réduisant la capacité productive de la terre. D'où l'analyse de l'impact du feu sur les principaux indicateurs de la dégradation des terres dans une des régions les plus touchées par ce fléau à Madagascar. La télédétection, des analyses de sols et des enquêtes ont été effectuées à la fois à cet effet. Les changements d'occupation de sol, le stock de carbone organique du sol (COS) et le système d'exploitation des ménages de la Région Boeny ont été analysés puis modélisés dans le cas d'une prise d'action dans le but de ressortir les impacts du feu sur la région mais surtout de souligner les raisons économiques de gérer le feu. L'implication du feu dans les processus de changement d'occupation du sol a été démontrée et il en est ressorti qu'une réduction des feux pourrait atténuer la déforestation de 0,94%. En agissant dans ce sens, la perte en COS de la région serait atténuée et le revenu des ménages augmenterait jusqu'à 126% en 16 ans. En outre, les bénéfices des investissements potentiels en faveur de la gestion durable des terres avec des pratiques de gestion des feux permettraient à la fois de maintenir le capital sol, de limiter les émissions de CO_2 et d'améliorer les revenus des paysans. Cependant, le levier structurel de ce changement reste très complexe car les systèmes d'exploitation ont des capitaux très limités et dont l'extension possible demeure uniquement l'extensification à l'heure actuelle.

Ces résultats mettent l'accent sur la nécessité d'entreprendre des actions pour contrôler le feu et fournissent aux décideurs des informations de bases qui pourraient être utiles dans un processus de gestion des feux avec les lignes d'action à mettre en œuvre dans une note politique produite à cet égard. En parallèle, un nouveau parcours de Master a été développé afin de former les cadres futurs sur les thématiques de gestion des terres et des paysages en lien avec le développement.

1. Introduction générale

La **désertification**, ainsi que le **changement climatique** et la **perte de biodiversité** ont été identifiés parmi les plus grands défis pour le développement durable au cours du Sommet de la Terre à Rio en 1992. Etablie en 1994, la **Convention des Nations Unies sur la Lutte Contre la Désertification et la dégradation des terres** (CNULCD) est le seul accord international liant l'environnement et le développement à la gestion durable des terres. D'ailleurs, la dégradation des terres est qualifiée dans ce contexte comme l'un des plus grands défis environnementaux (Pender, 2009). Selon la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNULCD), elle fait référence à une réduction ou à une perte de la productivité biologique ou économique et de la complexité des terres pluviales ainsi que des terres cultivées irriguées, ou des pâturages, des forêts et des bois. Il s'agit de la réduction temporaire ou permanente de la capacité de production de la terre, ou de son potentiel à produire des avantages d'une utilisation particulière des terres dans le cadre d'une forme spécifique de gestion des terres (Lal 1994 ; Pieri 1995 ; Enters 1998). La CNULCD estime que jusqu'à deux tiers de la superficie des terres productives en Afrique est affectée par la dégradation des terres (CNULCD, 2013).

A Madagascar, l'alignement du **Plan D'Action National (PAN aligné)** a été adopté par le Gouvernement via le Décret N° 2015-747 du 28/04/15. Ce Plan a permis de déterminer la situation des zones touchées par la désertification et la dégradation des terres et de voir leur dynamique dans le temps. Ce document a identifié **30,2% de la superficie de l'ensemble de l'île comme zone touchée par le processus de désertification**. L'érosion par l'eau et par le vent sont de loin, quantitativement, les processus de dégradation les plus importants. Les principales causes sont le déboisement, le surpâturage, la gestion inappropriée du sol qui se traduit par (i) un changement d'affectation de l'utilisation des sols en changeant leur vocation initiale, par (ii) une intensification des pratiques agricoles entrainant une perte de la productivité primaire des sols et par une augmentation nette des émissions de CO_2 (Robert, 2002).

Le PAN a mis en exergue deux orientations claires sur le développement des connaissances dont la promotion de la conscientisation et de l'attitude des acteurs et l'amélioration de la productivité et des activités de restauration. Conscient de l'importance de la dégradation des terres sur l'ensemble des écosystèmes naturels, le processus a été élargi à l'échelle

nationale à partir de l'année 2016 pour aboutir à une évaluation globale de la **dégradation des terres qui touche 1/3 du pays** (soit 195 817 km²) et à une Politique Nationale sur la **Neutralité de la Dégradation des Terres** (NDT) avec un engagement pour l'année 2030. Les orientations du PAN ont ainsi été plus précisées avec des directives claires sur :

- L'amélioration **de la gouvernance institutionnelle** en termes d'aménagement territorial et de coordination des stratégies/politiques sectorielles ;
- Des **mesures techniques plus renforcées basées sur l'amélioration de la productivité et les stocks de carbone** dans les **zones cultivées et les zones de pâturage,** l'augmentation de la couverture des infrastructures vertes, la réduction de la conversion de forêts à d'autres types de couverts végétaux et la réduction de la conversion de zones humides à d'autres types de couverts végétaux ;
- La mobilisation des incitations financières qui doit passer par un engagement étatique plus accru et une meilleure inclusion du secteur privé.

De plus, Madagascar fait partie d'un des 10 pays qui se sont engagés officiellement dans l'**AFR100** avec une première promesse de **restaurer 4 millions d'hectares d'ici à 2030.** Le pays s'est d'ailleurs doté d'une Stratégie Nationale pour la Restauration des Paysages Forestiers (SNRPF) pour aller dans ce sens et actuellement est dans la phase d'identification des zones prioritaires pour les actions. Cependant, malgré ces avancées notables du pays, il est crucial de reconnaître que les outils d'amélioration de la gouvernance institutionnelle, également repris par la SNRPF, sont insuffisants. En outre, les impacts aussi bien de la dégradation des terres, mais également des initiatives de gestion durable des terres au niveau local, demeurent des mesures très techniques, comprises uniquement par le secteur en charge de l'environnement et des forêts. Or, tous les documents cadres énoncés reconnaissent la nécessité de mobiliser l'ensemble des secteurs, sur un langage uniforme et compris de tous. Dans ce sens, les données sur les impacts économiques de la dégradation des terres/gestion durable des terres constitueront pour le futur un outil clé d'aide à la décision pour l'ensemble des décideurs.

Selon la banque mondiale (2011), les pratiques culturales telles que le brûlis, les feux de brousse et l'utilisation des combustibles solides pour la cuisson sont des facteurs majeurs entrainant une dégradation progressive des terres à Madagascar et réduisent la capacité

productive de la terre, affectant environ 31% du pays. Cependant, les potentiels économiques et écologiques que représentent une bonne gestion de terres sont significatifs car la dégradation de terres coûte au pays l'équivalent de 23% de son PNB (Produit National Brut), soit une estimation de US$1,7 milliards de dollars (Global Mechanism, 2018). Le retour d'investissements dans la restauration des terres dégradées à Madagascar pour lutter contre la dégradation des terres est estimé à 4 USD pour chaque dollar investi (Global Mechanism, 2018). L'évaluation économique des coûts de la dégradation des terres engendrés par les pratiques du feu et les changements d'occupation du sol s'avère donc importante.

L'évaluation économique de la dégradation des terres a été reconnue comme un outil important pour évaluer les compromis entre les pertes de bien-être social dues à l'inaction et les gains nets de bien-être grâce à des actions alternatives contre les facteurs de la dégradation des terres. L'évaluation des coûts de l'inaction et l'évaluation des impacts économiques et environnementaux en termes de coûts peuvent mettre en évidence la nécessité de mener des actions et les résultats pourront informer les décideurs sur l'orientation des actions à mener dans le cadre d'investissements rentables.

1.1. Contexte national

La République de Madagascar est située dans la partie occidentale de l'Océan Indien. La superficie du pays est de 587 041 km². L'ensemble de l'île présente un climat tropical pouvant être divisé en cinq classes selon la pluviométrie (Cornet, 1974) : perhumide, humide, subhumide, subaride, sec et montagnard. La population malgache est estimée à plus de 21 millions d'habitants dont 45% ont moins de 15 ans qui, malgré la réduction du taux de fécondité, présente un accroissement naturel de 2,8% par an soit une croissance totale de 125% d'ici 2050 (EPM, 2000). Malgré cela, le pays connait un problème de crédibilité des données démographiques lié à l'absence de mise à jour du recensement général de la population et qui rend très complexe les analyses statistiques au niveau du pays.

Le pays est doté d'un environnement favorable à la gestion durable des ressources naturelles avec de grandes quantités de terres arables, de vastes zones boisées, de vastes gisements

de ressources minérales, une main-d'œuvre abondante et une biodiversité unique. Le pays tend jusqu'à aujourd'hui vers la recherche d'une **meilleure gouvernance des ressources naturelles** qui doit être basée sur son **capital physique** et son **capital humain**. Cela sous-entend une valorisation durable du capital naturel, à travers des informations et des données bien fondées, des connaissances et des capacités nationales accrues ainsi que des processus de prise de décision cohérente et transparente dans la formulation des politiques et des stratégies.

A la fin de la colonisation en 1960, Madagascar était considéré comme un des pays les plus prometteurs d'Afrique. Cette situation s'est dégradée avec le temps par suite de crises politiques récurrentes et une gestion économique précaire. En effet, malgré des signes positifs par endroit, le pays est aujourd'hui un des plus pauvres du monde avec un **taux de pauvreté atteignant les 77,8%** et avec près de **4/5 vivant en milieu rural** où la pauvreté est plus accentuée (World Bank, 2016). De plus, le capital naturel, qui devrait être son potentiel de développement s'est gravement érodé avec le temps et a **diminué de 26%** selon les estimations entre 2005 et 2011. Cette baisse était associée à une baisse de 33% du potentiel des terres cultivées, à une baisse de 31% de la productivité des pâturages et à une diminution de 42% de la valeur des produits forestiers non ligneux (World Bank, 2017).

Les différentes crises successives ont fortement affaibli les différentes institutions du pays et freinent grandement **les investissements** à cause de l'absence d'un **environnement favorable global.** Les capacités techniques sont généralement limitées au niveau national et au niveau local et les mesures structurantes basées sur la mise en place d'infrastructures et d'équipements adaptés à l'échelle nationale tardent à se mettre en place. Cette situation est particulièrement ressentie au niveau de l'éducation qui devrait compenser à long terme à cette lacune. En effet, à ce stade, il est noté à tous les échelons de prise de décision l'absence d'un outil d'aide à la décision intégrée, le manque de données et de capacités de gestion des données. Or, pour renforcer les capacités institutionnelles, il est clair aujourd'hui que le pays a besoin à la fois de :

- **créer des données fiables sur la gestion des ressources naturelles** afin que les décisions politiques et stratégiques soient prises de façon éclairées et considérant les aspects de durabilité du capital

- former des **capacités et des connaissances à l'intérieur même du pays** afin de répondre aux défis de gestion de ses ressources, mais également afin de faire face au nouveau défi démographique, de changement climatique et des demandes accrues en ressources au niveau mondial.

- **formuler des politiques et des stratégies sectorielles cohérentes** basées sur un aménagement territorial en faveur de toutes les communautés sur la base des données créées, gérées et mises à jour régulièrement.

Il est ainsi clair qu'adresser en même temps à ces enjeux constitue un levier clé dans le processus de développement à tous les niveaux au niveau du pays.

L'importance de la valorisation des ressources naturelles sur les **moyens d'existence des communautés locales** est primordiale dans le sens où les 4/5 des Malgaches vivent aux dépens de la terre en tant que capital. Néanmoins, ceci indique une forte sensibilité des communautés aux productivités potentielles des terres et aux valeurs ajoutées qui s'y rattachent. Les pratiques dégradantes de subsistance sont souvent les premiers recours des ménages face à l'impossibilité d'investir sur une meilleure gestion de l'eau, l'adoption de techniques améliorées, la sécurisation du foncier et les premières transformations pour une optimisation de la valeur ajoutée. Dans cette optique**, l'agriculture sur brûlis persiste**, non seulement parce qu'elle offre aux ménages ruraux la possibilité de réaliser des investissements faibles pour une production à court terme, mais aussi parce qu'elle leur permet de revendiquer des terres qui pourraient subsister à plus long terme. Les pratiques actuelles tendent ainsi vers une **dégradation généralisée des paysages** sans une possibilité d'amélioration des moyens d'existence des communautés.

L'orientation d'un nouveau modèle de développement voulu par les dirigeants actuels sous-entend une évolution des efforts au-delà des revenus bruts de chaque citoyen et illustrés par l'engagement fort du pays vers les ODD. Cependant, il est clair aujourd'hui que les pays en voie de développement auront du mal à rapporter tous les indicateurs et tous les cibles des ODD vu leurs moyens limités et vu la disponibilité actuelle des données. Cela n'empêche pas le pays à réfléchir à des indicateurs intégrés et synthétiques qui rapportent à la fois sur une amélioration nette liée à plusieurs cibles et objectifs intégrés. L'analyse de l'évolution du capital naturel, de sa contribution aux moyens d'existence des communautés et des

possibilités de maintien de **la productivité du capital en faveur de ces moyens d'existence** pourra ainsi être un outil clé intégré qui permettra au pays de mieux orienter ces politiques vers l'atteinte des objectifs clairement identifiés.

1.2. Concept-clés du projet

Le projet proposé, intitulé « Projet d'appui pour le renforcement des capacités en économie de la gestion durable et de la dégradation des terres » fait suite au processus PAN et à la définition des cibles NDT à l'échelle nationale. Le Projet met un accent particulier sur la valeur économique des dynamiques actuelles de dégradation, prenant en compte les valeurs des biens et services afin de nourrir les processus de prise de décision politique. Le projet a ainsi une portée sur la gouvernance intersectorielle des ressources naturelles à travers des informations continues sur les valeurs ajoutées apportées par la gestion durable des terres.

Les premières estimations de la dégradation des terres effectuées par Nkonya et al. (2016) ont fait état d'une valeur de 1,7 milliards USD soit 23% du PIB National à l'échelle du pays. De plus, 49% des pertes sont liées aux **pertes de services écosystémiques** qui ont des **impacts significatifs sur les moyens d'existence de la population** principalement rural. Notons que la contribution de l'agriculture est de 26 % du PIB total et que les ratios des coûts de l'action / inactions sont estimés à 25,5 milliards / 92,7 milliards USD. Ces chiffres démontrent aujourd'hui sur l'urgence d'avoir des données nationales avec plus de détails afin de prioriser les actions locales, de développer les connaissances et les capacités nécessaires pour gérer ces données et orienter les politiques sectorielles à l'échelle du pays.

Le projet vise principalement à **« conscientiser l'ensemble des acteurs sur la valeur de la terre au niveau de la Région Boeny »**. Il s'articule sur les réalités entre la gouvernance institutionnelle en apportant les éléments nécessaires pour la prise de décision au niveau politique et stratégique et aussi la gouvernance locale. Le focus d'analyse a été mis sur l'utilisation du feu, une pratique qui a des répercussions multiples sur la biodiversité, la productivité des terres, l'émission de gaz à effet de serre, ainsi que l'érosion et la santé des sols. Il s'agira ainsi :

- D'élaborer des **méthodes d'évaluation** appropriées pour évaluer les coûts globaux de la dégradation des terres à l'échelle régionale ;
- D'entreprendre une **évaluation globale** multidisciplinaire des coûts économiques de la dégradation des terres causée par l'utilisation des feux, les coûts et les avantages des actions et réponses possibles (y compris les coûts de l'inaction) ;
- De **créer les capacités** sur l'utilisation de l'information économique pour la gestion durable des terres par une **formation initiale** à travers la mise en place d'un système de Master permanent qui permettra à long termes (chaque année) de former des cadres multi disciplinaires pour la production et la gestion des données.
- Élaborer en collaboration étroite avec le projet ProSol un **document d'orientation à l'intention des décideurs** à tous les niveaux sur la base des résultats de l'analyse sur les impacts des feux.

Le projet a été soutenu par l'initiative ELD (SV Boden) et le Projet Prosol/GIZ et mise en œuvre par le Laboratoire LLandDev (Land, LAndscape and Development Research Lab) avec l'appui de Sara Hernandez Consulting et Global Fire Monitoring Centre (GFMC) respectivement dans la partie renforcement de capacités / protocole de collecte de données et dans la gestion des feux / développement de note politique sur les feux.

1.3. Approche méthodologique

Afin de ressortir les avantages de l'action contre la dégradation des terres induite par le feu au niveau de la région Boeny, plusieurs indicateurs ont été pris en compte. D'un côté les indicateurs qui peuvent statuer directement de l'état et de l'avancement de la dégradation des terres, dont (i) les différentes formes d'utilisation des terres et leur changement sous l'impact du feu à travers le temps, (ii) la productivité des terres et (iii) le taux de carbone organique du sol (Aronson *et al.*, 2016). D'un autre côté, les indicateurs sur la situation économique des ménages locaux qui sont les plus concernés par l'utilisation du feu (Excédent Brut d'Exploitation). La méthode d'évaluation développée est basée sur plusieurs étapes :

- La détection pluriannuelle des feux pour l'élaboration des cartes de fréquence des feux et de leurs modalités (saisonnalité) (par compilation des observations mensuelles de 2013 à 2018)

- L'analyse de l'évolution de l'occupation des sols (2008, 2014 et 2018) afin de ressortir la répartition des feux par occupation des sols et de simuler les modèles spatiaux de changement sous plusieurs scénarii de gestion des feux.

- L'analyse des taux de carbone organique du sol pour chaque occupation du sol en mettant l'accent sur les impacts du feu au niveau des parcelles agricoles des exploitants afin de ressortir les pertes/bénéfices de l'utilisation des feux.

- L'analyse des systèmes d'exploitation sur la base d'un échantillonnage issus de l'analyse de la productivité des terres (1989 à 2018) et d'une enquête auprès des ménages sur un échantillon représentatif des systèmes d'exploitation observés. Cette analyse a permis de ressortir les excédents bruts d'exploitations et les coûts /bénéfices de l'utilisation des feux au niveau parcellaire.

- Le développement de modèles spatiaux d'actions et inactions pour le futur avec des scénarios pour 2025 et 2035 pour l'ensemble de la Région Boeny.

Les résultats ont été structurés en deux parties dont :

- La gestion des feux au niveau régional qui traite des changements d'occupation du sol et des pertes de carbone organique du sol sous l'effet du feu à large échelle, suivi d'une modélisation de ces paramètres s'il y a contrôle des feux.
- La gestion des feux à l'échelle de l'exploitation agricole qui tient compte des impacts du feu sur les revenus des ménages et sur les changements de taux de carbone organique des sols des parcelles agricoles, suivi également d'une modélisation avec et sans contrôle des feux.

Pour faciliter la lecture et la compréhension du document, la méthodologie détaillée est présentée dans l'annexe 1.

2. Gestion des feux à l'échelle régionale

2.1. Occupations du sol de la région

L'occupation du sol constitue un moyen d'appréhender les différentes formes d'utilisation des terres actuelles dans la région Boeny.

Tableau 1 : Définition des types d'occupation du sol selon le GIEC

Zone habitée (zone bâtie)	Cette catégorie comprend tous les terrains aménagés, y compris les infrastructures de transport et les établissements humains de toute taille, à moins qu'ils ne soient déjà inclus dans d'autres catégories.
Terre cultivée (Agriculture)	Cette catégorie comprend les terres cultivées, y compris les rizières, et les systèmes agroforestiers où la structure de la végétation tombe en dessous des seuils utilisés pour la catégorie des terres forestières.
Forêt	Cette catégorie comprend toutes les terres à végétation ligneuse conformes aux seuils utilisés pour définir les terres forestières dans l'inventaire national des gaz à effet de serre.
Savane	Cette catégorie comprend les parcours et les pâturages qui ne sont pas considérés comme des terres cultivées. Il comprend également les systèmes à végétation ligneuse et autres végétaux non herbeux tels que les herbes et les broussailles qui tombent sous les valeurs seuils utilisées dans la catégorie des terres forestières. La catégorie comprend également toutes les prairies, des terres sauvages aux zones récréatives ainsi que les systèmes agricoles et sylvopastoraux, conformément aux définitions nationales.
Zone humide (Plan d'eau)	Cette catégorie comprend les zones d'extraction de tourbe et les terres couvertes ou saturées d'eau pendant toute ou partie de l'année. Il comprend les réservoirs en tant que sous-division gérée et les rivières et lacs naturels en tant que sous-divisions non gérées.
Autres OS	Cette catégorie comprend le sol nu, la roche, la glace et toutes les zones terrestres qui n'appartiennent à aucune des cinq autres catégories.

Trois cartes pour 3 périodes 2008, 2014 (voir Annexe 3) et 2018 (figure 2) ont été produites pour déterminer les différents types d'occupation du sol de la région Boeny et pour évaluer leur changement au cours du temps. L'occupation du sol en 2018 est dominée par les formations savanicoles qui représentent environ 72% de la surface totale de la zone, suivies par les forêts avec 15,4% du territoire (Figure 1).

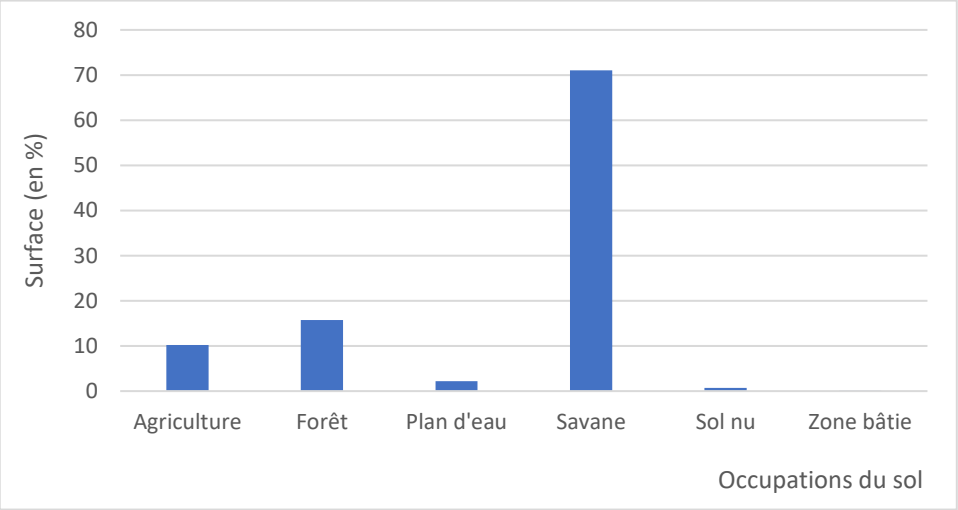


Figure 1 : Proportion des surfaces par occupation du sol dans la Région de Boeny (2018)

Un grand nombre de changement a été constaté entre 2008 et 2018. Entre autres, un taux de déforestation avoisinant les 14% (14,34%) ; soit 1,43% de taux de déforestation annuelle durant cette période dans la Région Boeny. La superficie des zones agricoles a augmenté de manière globale, elle est passée de 249 408 ha (8,22% du territoire) à 309 150 ha (10,19% du territoire) en 2018.

Ces faits sont dus aux activités anthropiques, notamment à la déforestation pour l'accroissement des surfaces agricoles, par différentes méthodes : le défrichement, la culture sur-brûlis, etc. Williams (2000) a affirmé que la superficie couverte par la forêt et sa dégradation est en étroite corrélation avec les densités de la population en zone tropicale. En effet, l'un des impacts humains les plus importants sur la biosphère est la suppression de la couverture végétale originale et son remplacement par un autre type d'occupation du sol (Bogaert *et al*., 2008).

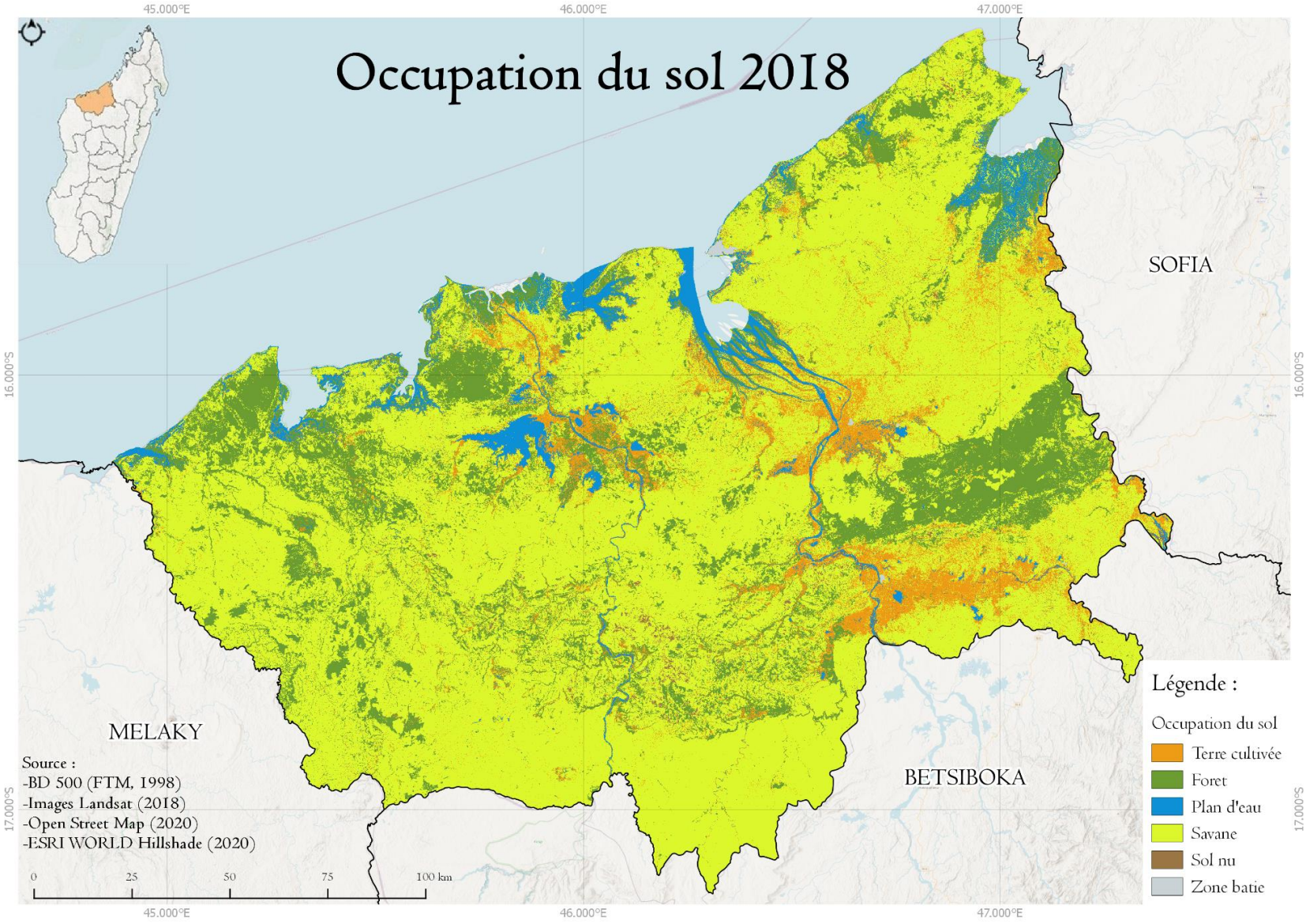


Figure 2: Occupations du sol dans la Région Boeny en 2018

2.2. Carbone organique du sol

La teneur en carbone organique du sol est un des principaux indicateurs permettant d'évaluer la dégradation des terres au niveau national (Aronson *et al.*, 2016). En effet, la teneur en matière organique est considérée comme l'un des principaux indicateurs de la qualité du sol, tant pour l'agriculture que pour les fonctions environnementales. La capacité d'échange des cations augmente en général en fonction de l'augmentation de la matière organique. La biodisponibilité d'autres éléments importants, comme le phosphore, sera améliorée, et la toxicité d'autres éléments peut être inhibée par la formation de chélate ou autres liaisons, par exemple, l'aluminium complexé par la matière organique (Robert, 1996). Concernant les propriétés physiques, la matière organique et les organismes vivants associés jouent un rôle dans l'agrégation du sol à différentes échelles de l'organisation du sol (Tisdall et Oades, 1982 ; Robert et Chenu, 1991), aux échelles micro et macro. Les processus d'agrégation et de la séquestration du carbone sont fortement associés (Golchin et al., 1994; Angers et Chenu, 1998). Toutefois, la teneur en carbone organique du sol (COS) peut être fortement modifiée, dégradée ou améliorée par les changements d'utilisation du sol et la gestion du sol (Robert, 2002). Déterminer les facteurs influençant le taux de carbone organique du sol permettrait donc de définir les actions à mettre en œuvre pour la gérer durablement.

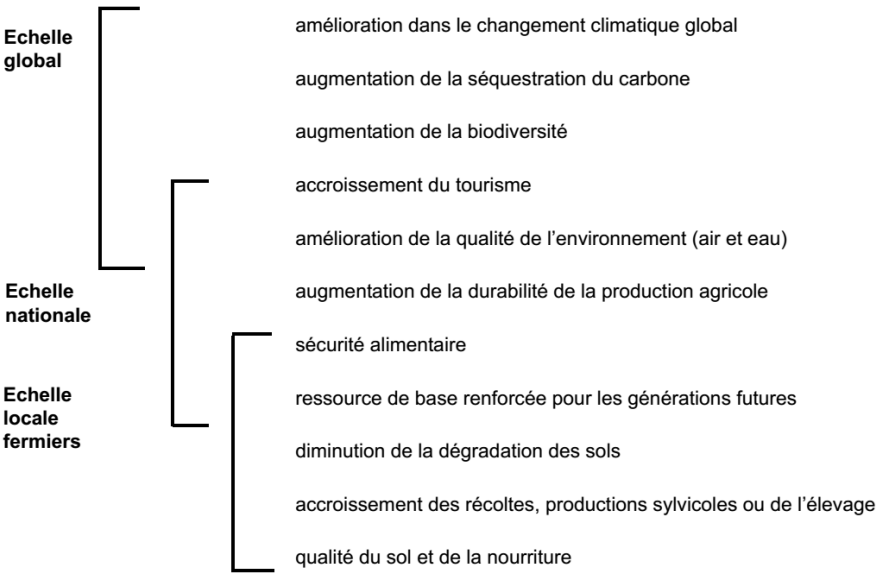


Figure 3 : Principaux bénéfices de la gestion durable du carbone du sol à diverses échelles

Source : FAO, 2002

2.2.1. Stock de carbone organique du sol de la région Boeny

Pour la région Boeny, la moyenne de COS sur 30 cm de profondeur est de 73,6 MgC/ha, avec des valeurs allant de 11,21 à 251,45 MgC/ha. Toutefois, une très grande variation des données et un déséquilibre de la distribution sont observées avec un coefficient de variation de 55,93%, et une médiane inférieure à la moyenne (62,2 MgC/ha). D'autres estimations à l'échelle nationale montrent également de fortes variations des distributions de COS allant de 35 à 76% (Grinand *et al*., 2009).

2.2.2. Différents paramètres influençant le taux de COS

2.2.2.1. Occupations du sol

Le taux de COS varie significativement en fonction des différentes catégories d'occupation du sol (figure 4, annexe 3). Il augmente en fonction de la quantité de biomasse présente pour l'occupation du sol. En effet, les écosystèmes forestiers contiennent plus de carbone par unité de surface que tout autre type d'utilisation du sol, et leurs sols contiennent à peu près 40 pour cent du carbone total (FAO, 2002) suite à leur quantité élevée de biomasse (débris, litière, matière organique du sol et racines...).

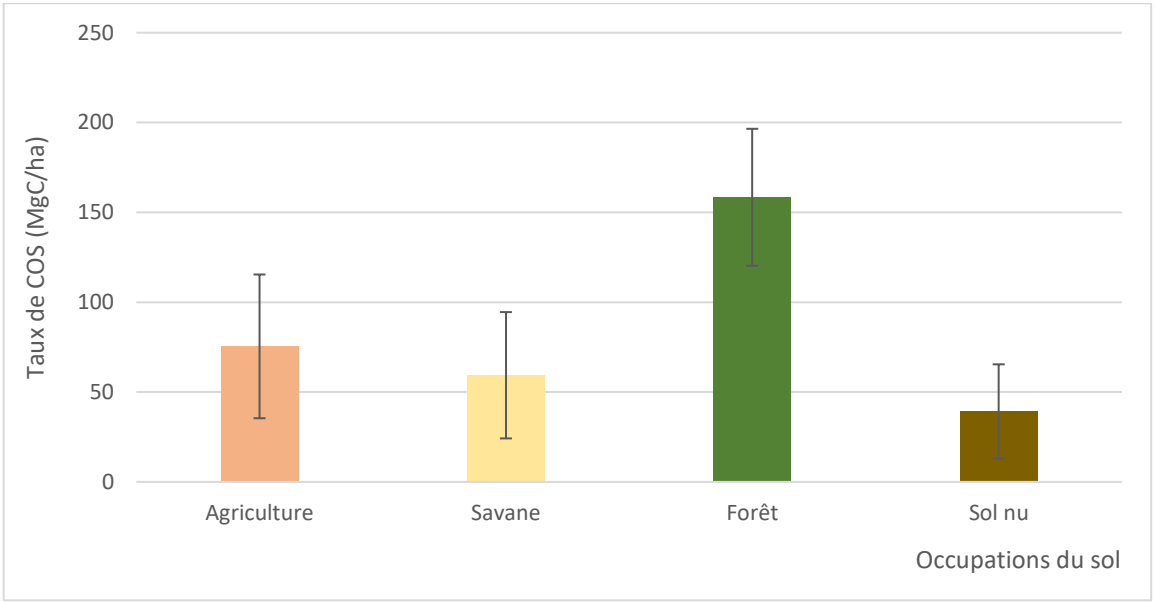


Figure 4 : Taux de COS en fonction des différentes occupations du sol

Ainsi, pour la région de Boeny, le stock total de COS pour l'ensemble pour les quatre occupations du sol susmentionnées s'élève à 22 745,51 TgC[1] (50,39 % d'erreur). L'erreur étant calculé à partir du coefficient de variation moyen pour les différentes classes d'occupation du sol.

Tableau 2 : Stock total de COS par occupation du sol (Région Boeny, 2019)

Classe	Surface (ha)	Stock moyen de COS (MgC/ha)	Stock Total de COS (MgC)
Agriculture	309 150,00	75,45 ± 40,01	23 316 680,39
Forêt	476 394,57	159,4 ± 36,3	75 448 990,02
Savane	2 153 453,49	59,35 ± 35,15	127 805 311,18
Sol nu	22 549,05	39,21 ± 26,22	884 073,84
Total	**2 961 547,11**		**227 455 055,43**

2.2.2.2. Toposéquence

L'évaluation de l'effet de la toposéquence a seulement été réalisée pour le cas des sols agricoles, étant donné que c'est la seule forme d'occupation du sol pour laquelle les quatre toposéquences ont été observées. Le taux de COS est plus élevé pour les sols trouvés en bas-fond (annexe 5). Ces résultats s'expliquent par le fait que les sols rencontrés en bas-fond sont généralement des sols hydromorphes ou des sols peu évolués, et ces types de sols stockent plus de carbone (Grinand *et al.*, 2009) grâce à la stabilisation de la matière organique humifiée associée aux minéraux allophaniques (Albrecht *et al.*, 1992) et à la conservation de la matière organique dans les conditions d'anaérobiose. De plus, le mouvement des matériaux organiques à travers du pente peut être un facteur, car en cas de ruissellement les particules sont emportées et déposées au bas de la pente (Roose, 1985).

2.2.2.3. Type de sol

Le taux de COS varie également en fonction du type de sol (annexe 5). Les sols peu évolués et les sols hydromorphes stockent le plus de carbone. En effet les sols peu évolués sont généralement des sols alluviaux et sont donc très riches en matière organique (CPCS, 1967).

[1] 1 TgC = 10^6 MgC

Ensuite la teneur élevée de COS des sols hydromorphes est due au fait qu'il y a stabilisation de la matière organique humifiée associée aux minéraux allophaniques (Albrecht et al., 1992) et conservation de la matière organique dans les conditions d'anaérobiose (Grinand *et al.*, 2009). Contrairement, les taux les plus faibles sont observés pour les sols minéraux bruts.

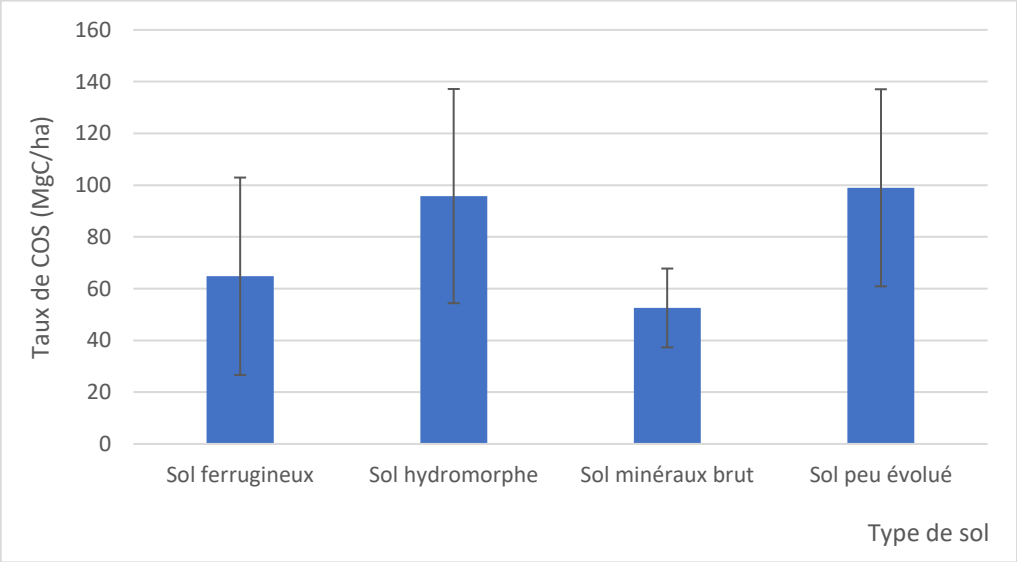


Figure 5 : Taux de COS suivant les différents types de sol

2.2.2.4. Feux

La relation entre le feu et le COS n'a été significative que pour les parcelles agricoles. Plus la fréquence de feu augmente, plus la teneur en COS diminue (r^2 = -0,73, α = 0,05) car lorsqu'il y a feu, la couverture végétale protégeant le sol disparaît, ce qui favorise son érosion. L'érosion conduit à une redistribution et à la perte d'une partie du COS, puisque les particules de sol sont déplacées, d'où la diminution de COS due au feu (Peter *et al.*, 2018). D'un autre côté, suite au passage de feu, si la végétation est rétablie, la perte est plus réduite et une certaine récupération de carbone est possible grâce à la matière organique apportée (De Moraes et al.,1996). Mais plus le passage de feu est fréquent, plus le sol a du mal à se restaurer et la quantité de COS baisse au fur et à mesure. Toutefois, le taux de COS augmente soudainement après 3 passages de feux en 6 ans. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'après 2 passages de feu, la dégradation du sol (baisse du taux de COS, baisse de la productivité) est considérable et les paysans décident d'intervenir à ce moment pour faire plus d'apport d'engrais.

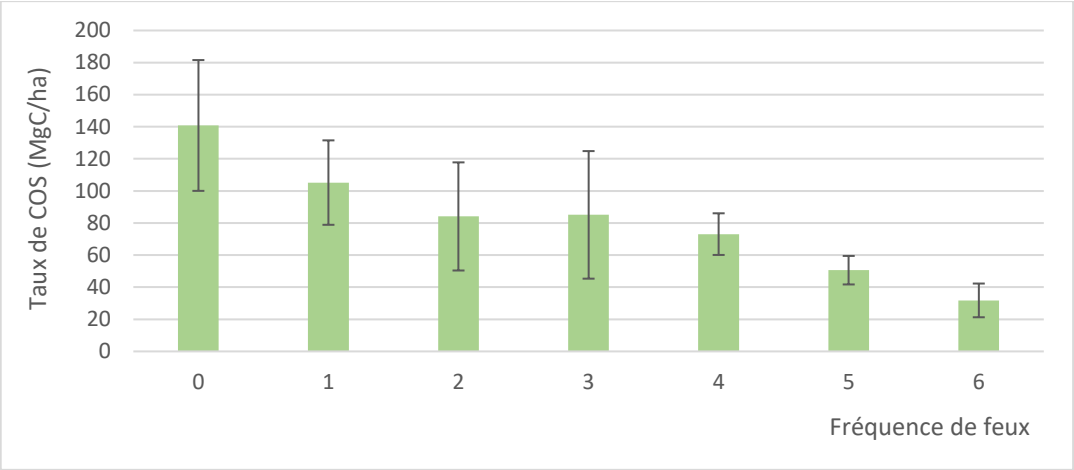


Figure 6 : Taux de COS des parcelles agricoles en fonction des différentes fréquences de feux observées entre 2013-2018

2.3. Rôles joués par le feu dans la région Boeny

En moyenne, 335 000 ha ont brûlé dans la région Boeny entre 2013 et 2018. Cela représente 11 % de la superficie totale de la région. Cette proportion est relativement élevée et met ainsi la région Boeny comme l'une des régions « hots spot » de feux à Madagascar à l'instar de Sofia, Ihorombe et Menabe. L'année 2018 a été l'année pendant laquelle la plus grande superficie brûlée a été observée dans la région avec plus de 400 000 ha. La surface brûlée a été aussi considérable en 2014, 2015 et 2016 contrairement aux années 2013 et 2017 pendant lesquelles la surface brûlée a été inférieure à la moyenne.

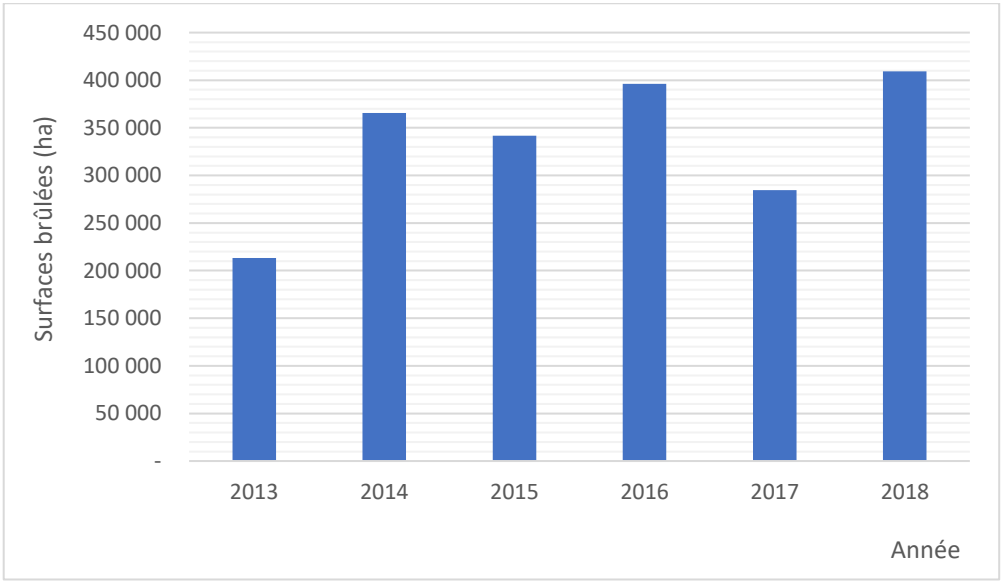


Figure 7 : Surface brûlée totale annuelle pour la période 2013 – 2018

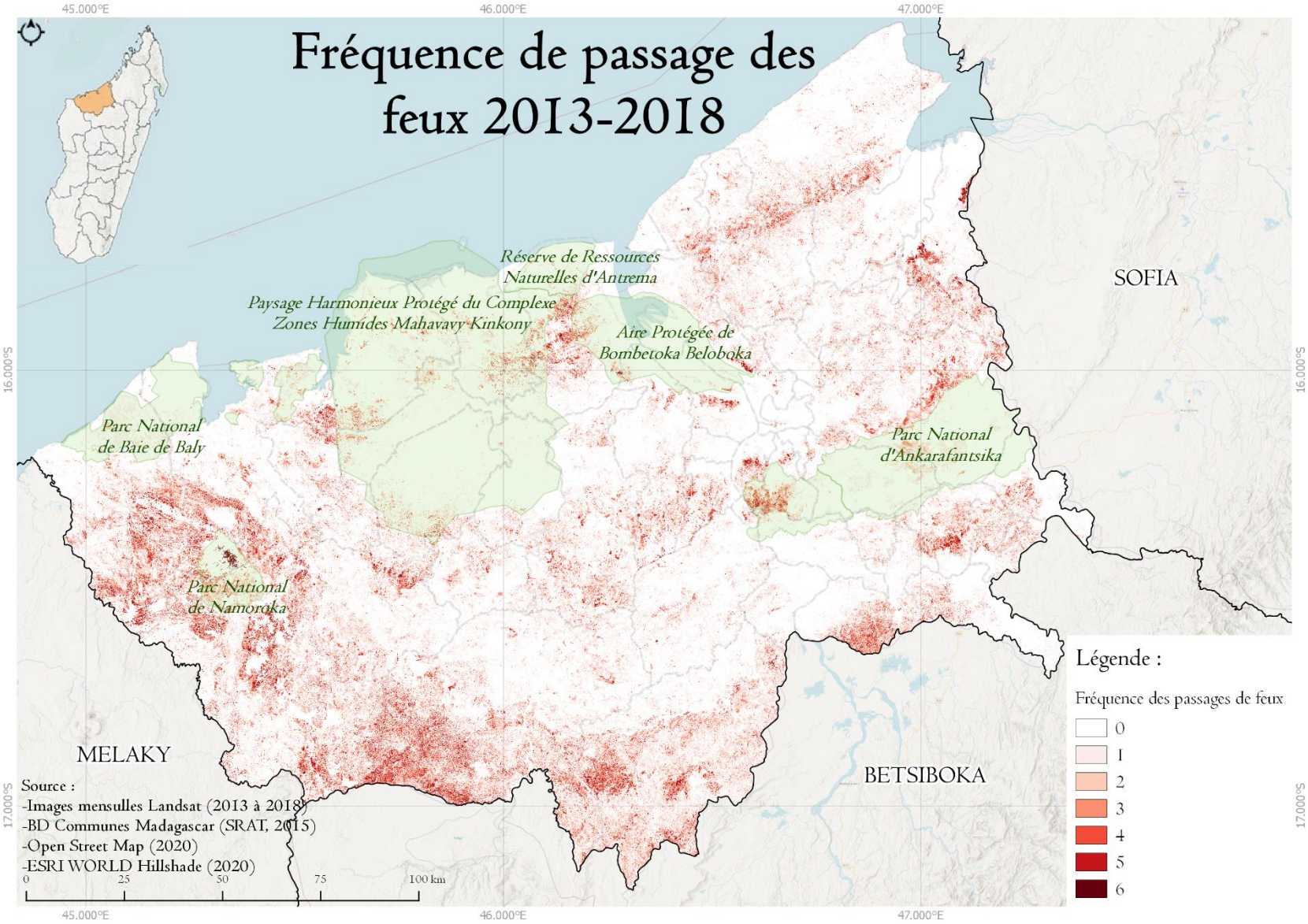


Figure 8 : Fréquence de passage des feux 2013-2018 dans la Région Boeny

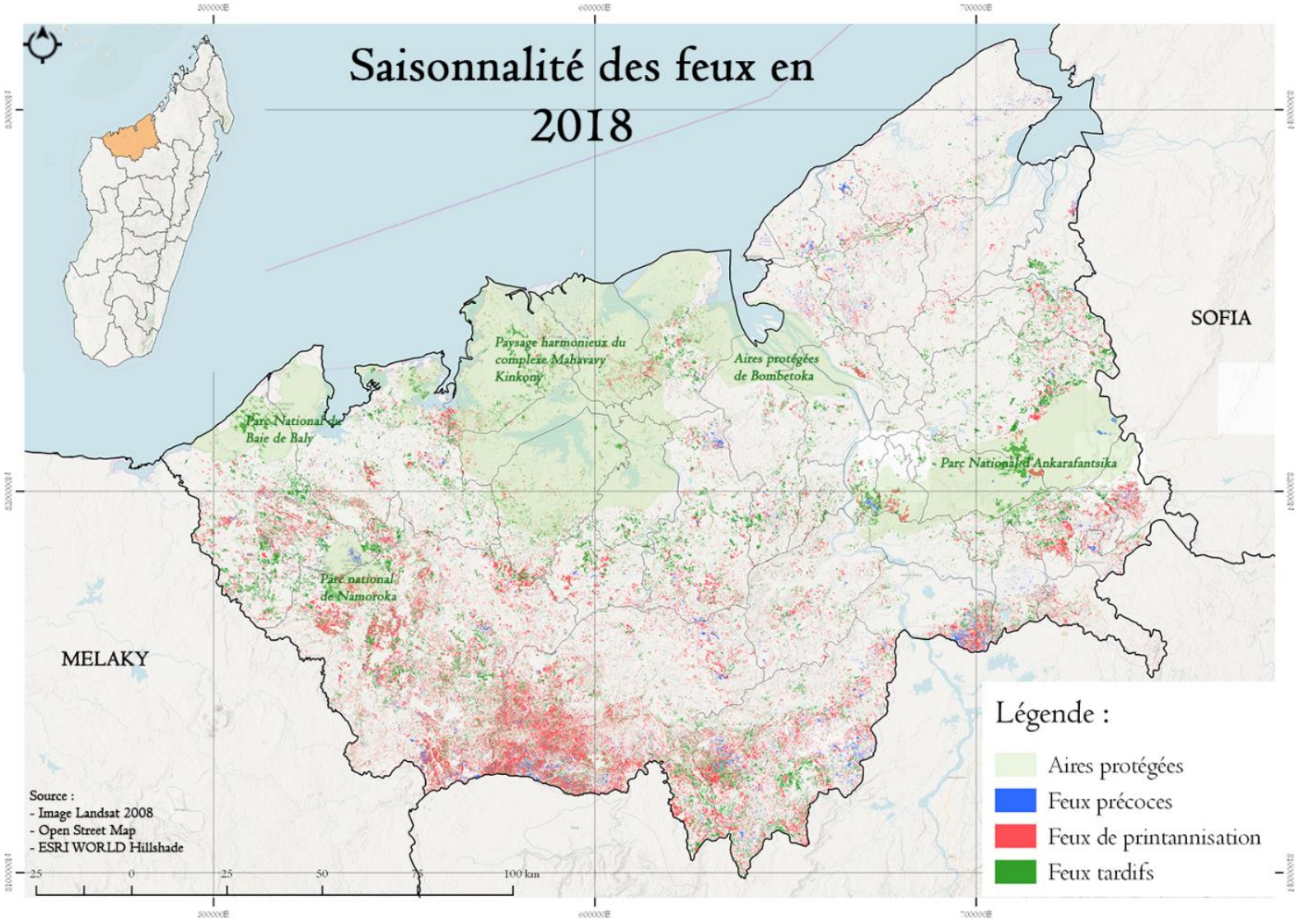


Figure 9 : Saisonnalité des feux en 2018 dans la Région Boeny

2.3.1. Influence du feu sur les occupations du sol

Après multiples productions cartographiques, il s'est avéré que 70% de la Région Boeny (2 116 615 ha) n'a pas été touchée par les feux et que 14% de la région (428 313 ha) a subi un seul passage de feux entre 2013 et 2018. Les passages fréquents de feux ne correspondent qu'à 10% de l'ensemble de la région avec une concentration dans la partie Sud où les pâturages sont abondants et l'insécurité règne. La répartition spatiale des feux montre qu'une zone ne brûle qu'une fois dans une même année en général (Figure 10). Ce qui laisse penser que l'utilisation des feux est liée aux besoins des locaux.

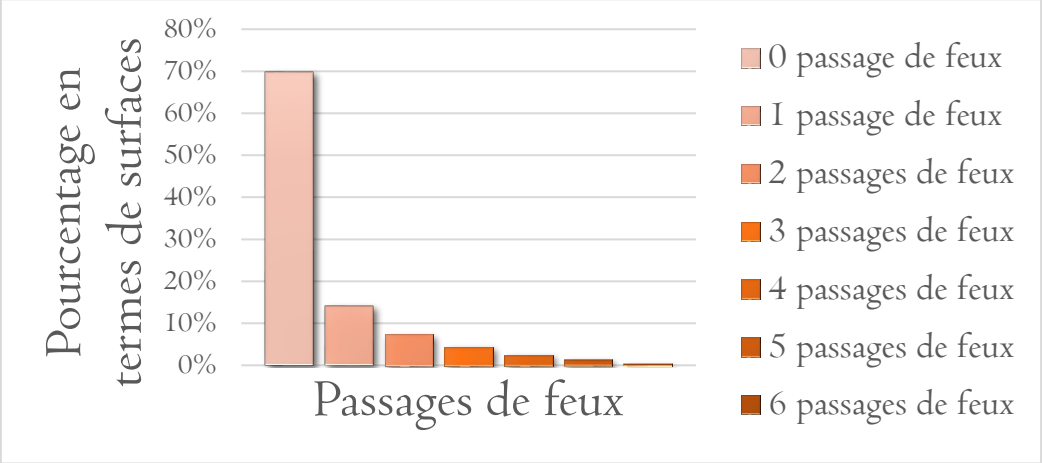


Figure 10 : Proportion des surfaces par passages de feux

10,29% des surfaces agricoles de la région Boeny ont été affectées par les feux, soit un total de 31 805 ha.

Tableau 3 : Répartition des surfaces agricoles brûlées par fréquence de feu

	Fréquence des feux	Pourcentage	Surface équivalente (ha)	Total (ha)
Absence de feu	0	89,71	277 344,76	277 344,76
Présence de feu	1	6,30	19 481,11	31 805,24
	2	2,15	6 638,76	
	3	1,00	3 087,67	
	4	0,53	1 624,80	
	5	0,24	746,91	
	6	0,07	226,00	
Total		100	309 150	

D'autre part en 2018, les feux viennent souvent des zones herbeuses et se propagent majoritairement vers les forêts et les zones de cultures. L'analyse intra-annuelle des feux a montré que les feux se déroulent généralement au cours de la saison sèche (entre le mois d'avril et d'octobre) avec une plus forte activité aux mois de juillet, août et septembre (annexe 6). Les feux touchent essentiellement les zones herbeuses (plus de 90%). Les feux de printanisation sont les plus importants et sont généralement utilisées pour le renouvèlement de pâturage avec les feux tardifs dans les zones herbeuses. L'importance des zones de culture et forêts touchées tardivement dans la saison sèche correspond aux feux de nettoiement et de défrichement pour la mise en culture.

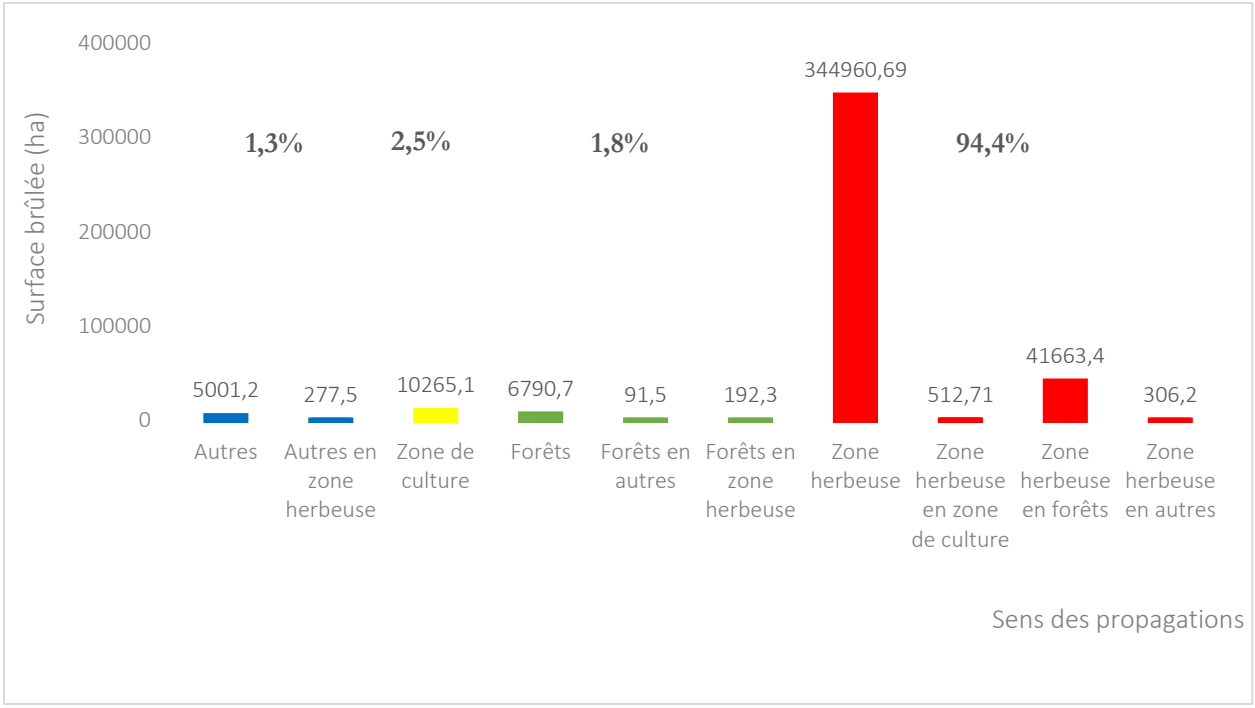


Figure 11 : Proportion de l'origine et de la propagation des feux en 2018

2.3.2. Impacts du feu sur le COS

Comme mentionné précédemment, le taux de COS varie en fonction des occupations du sol. Toutefois, le feu n'influe significativement que sur le taux de COS des parcelles agricoles (Annexe 5). Cela peut être due au fait que seules les parcelles agricoles sont victimes d'un passage de feu de plus de 3 fois en six ans.

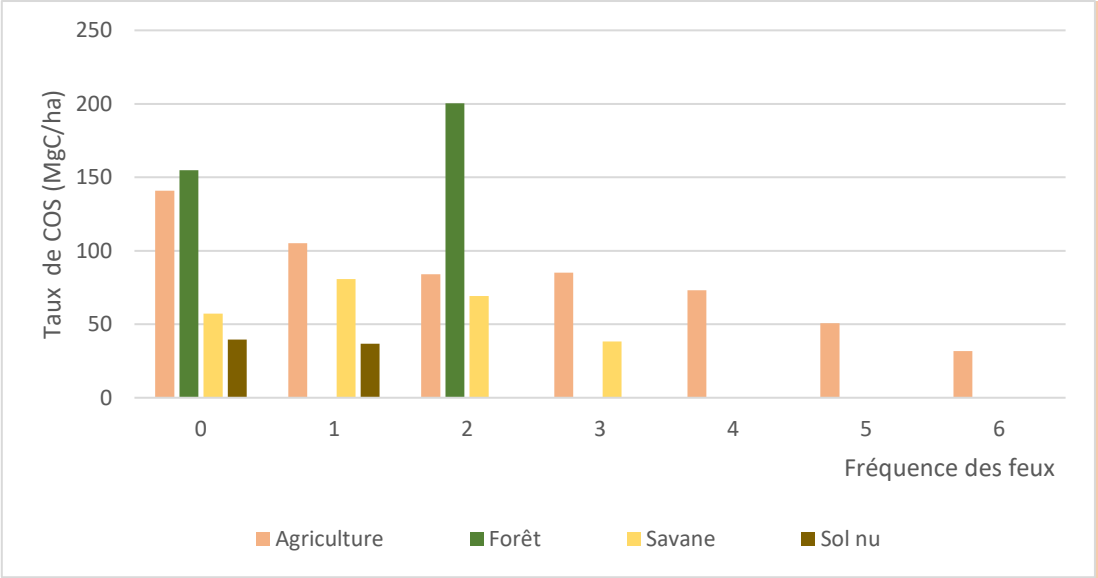


Figure 12 : Taux de COS par occupation du sol en fonction de la fréquence des feux observée dans la région de Boeny pour les années 2013-2018

Pour l'ensemble de la région, le stock de COS des surfaces agricoles est de 42 084 915 MgC. S'il n'y avait pas de feu (la fréquence de feu pour toute la surface agricole est donc 0), le stock de COS des surfaces agricoles serait de 43 528 320 MgC. La pratique du feu entraine donc une perte de 1 443 404 MgC de carbone organique du sol, soit 5 297 295 $MgCO_{2\,eq}$. Toutefois, une transition vers une politique de zéro feu est improbable car il est utilisé comme un outil de gestion du paysage par les communautés locales.

Tableau 4 : Perte de COS due au feu pour les parcelles agricoles de la région Boeny

Fréquence de feu	Surface équivalente (ha)	Taux de COS (MgC/ha)	Stock de COS total (MgC)	Stock de COS sans feu (MgC/ha)	Perte (MgC)
0	277 344,76	140,80 ± 40,76	39 050 463,74	**43 528 320**	
1	19 481,11	105,21± 26,31	2 049 568,61		
2	6 638,76	84,12 ± 33,69	558 420,76		
3	3 087,67	85,09 ± 39,76	262 715,86		
4	1 624,80	73,09 ± 12,98	118 761,92		
5	746,91	50,61± 8,89	37 800,93		
6	226,00	31,79 ± 10,51	7 183,52		
Total	**309 150**		**42 084 915,34**	**43 528 320**	**1 443 404,66**

2.4. Modélisation d'un scénario de réduction des feux au niveau des occupations des sols

Une prédiction de l'évolution de la couverture des sols pour les périodes de 2025, 2030, 2035 a été effectuée à travers une modélisation spatiale avec intégration de facteurs et/ou contraintes explicatives qui favorisent ou non la transition d'un type d'occupation du sol à un autre (dont le facteur répartition des surfaces brulées qui s'est avéré le plus explicatif d'entre tous les facteurs présents).

Les cartes produites montrent que plus les feux diminuent au fil des années plus la surface forestière augmente avec une couverture forestière s'étalant sur 507 822 ha, 514 807 ha et 517 773 ha pour les dates respectives de 2025, 2030 et 2035, ce qui représente en soi une hausse de 0,94% par an de surface forestière (figure 13). Il a été déterminé précédemment que les changements d'occupation du sol affectent le plus souvent les forêts et les savanes qui se transforment en zone agricole. Or l'utilisation du feu est surtout liée à l'agriculture, une réduction des feux résulterait donc en une augmentation des surfaces forestières. Il y aura moins de défrichement de forêt, mais aussi moins de risque de propagation des feux agricoles affectant les forêts.

Il y aura également diminution des surfaces agricoles car suite à la réduction des feux, la productivité des parcelles agricoles augmenterait (augmentation du taux de COS), les paysans seront donc moins enclins à étendre leur surface agricole.

Tableau 5 : Surfaces des terres cultivées et des forêts issues des modélisations

Type	2008	2014	2018	2025	2030	2035
Terre cultivée (ha)	249 408	267 229	309 150	277 535	270 550	267 583
Forêt (ha)	556 143	500 541	476 394	507 822	514 807	517 773

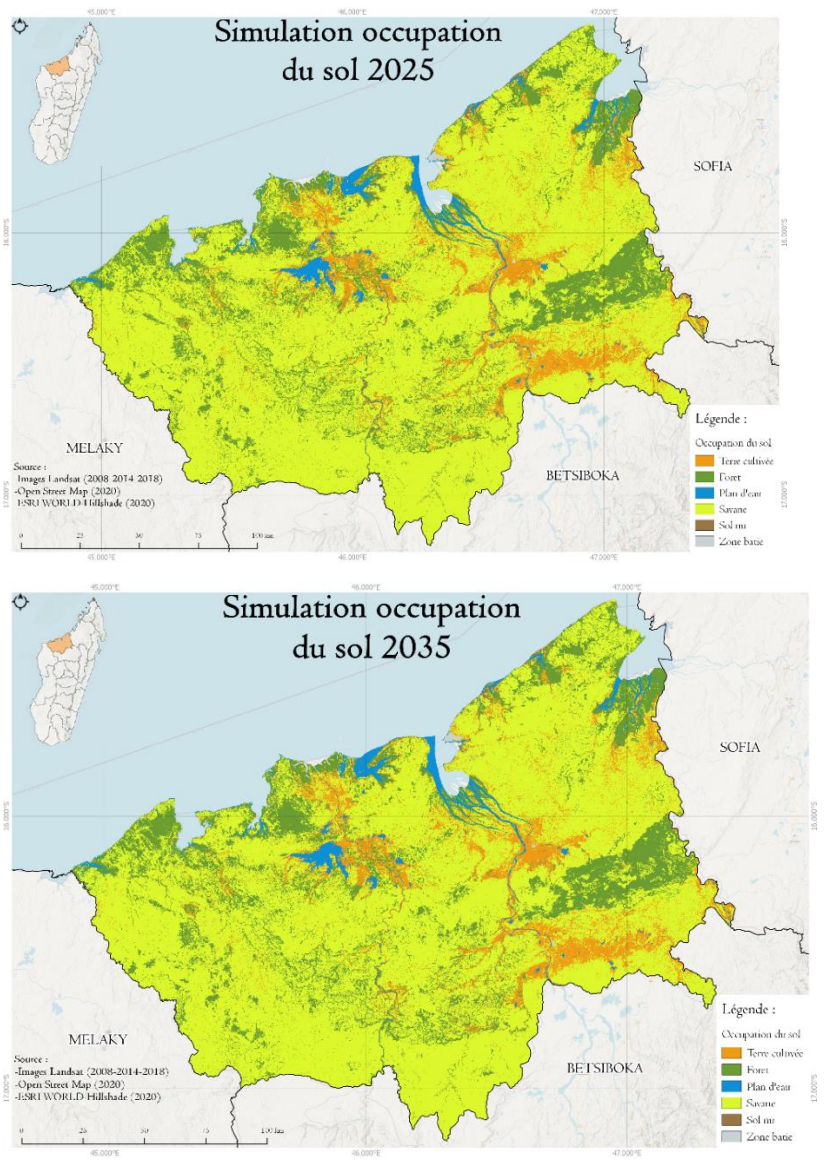


Figure 13 : Modélisation des occupations du sol 2025, 2030 et 2035 avec réduction des feux de 2% par an

2.5. Modélisation des scénarii d'action et d'inaction liés au stockage de COS

Compte tenu de la modélisation spatiale et des stocks de COS par occupation de sol, une augmentation du stock de COS total est observée s'il y a réduction des feux de 2% par an jusqu'en 2035 (ce stock correspond aux forêts et surfaces agricoles uniquement). La perte en COS cumulée si aucune action contre le feu n'est prise est estimée à 35 177 722 MgC après 16 ans. Soit un équivalent de 129 102 239 Mg de CO_2.

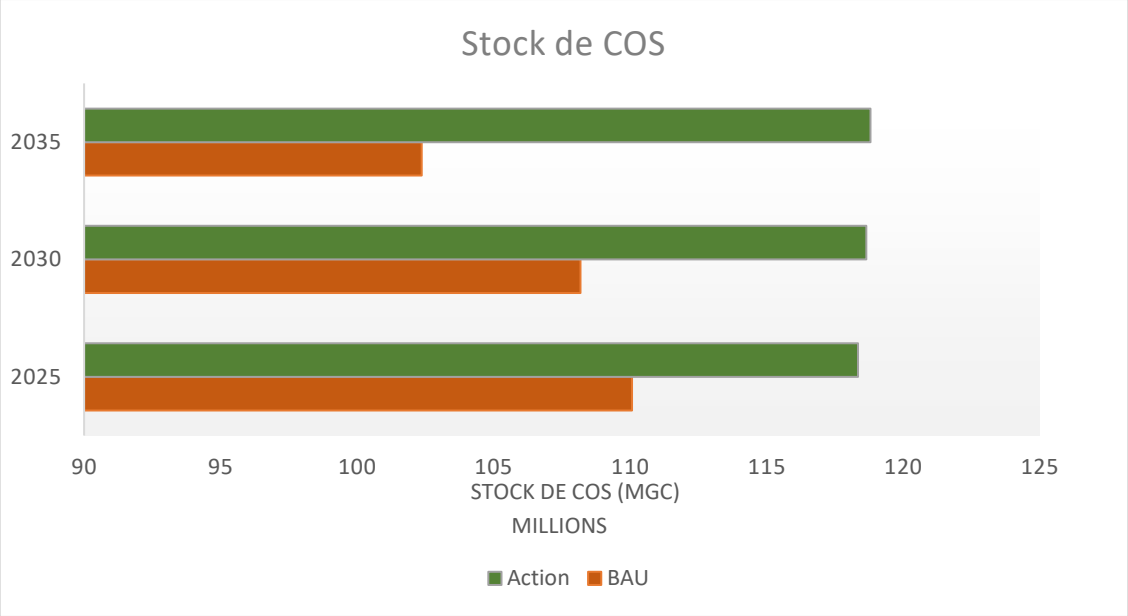


Figure 14 : Comparaison du stock de COS si action et inaction

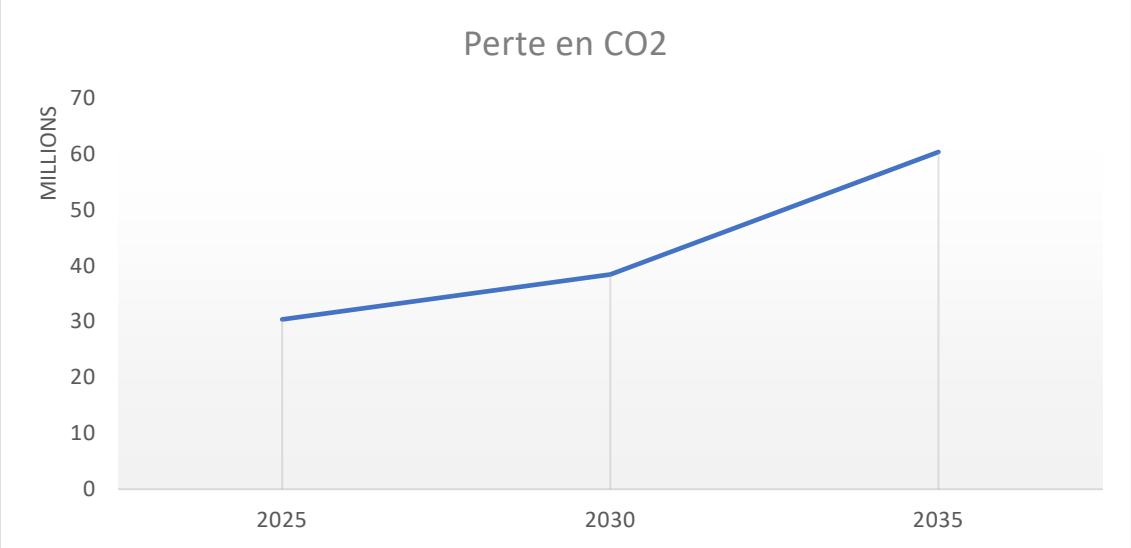


Figure 15 : Perte en COS si aucune action n'est prise

En termes de coût, le système d'échanges des droits d'émission (ETS) de Gaz à Effet de Serre (GES) de l'Union Européenne a fixé son taux à 10 € par tonne de CO_2, le coût de l'inaction s'élève donc à 1 291 022 398 € avec environ 303 millions en 2025, 384 millions en 2030 et 603 millions en 2035.

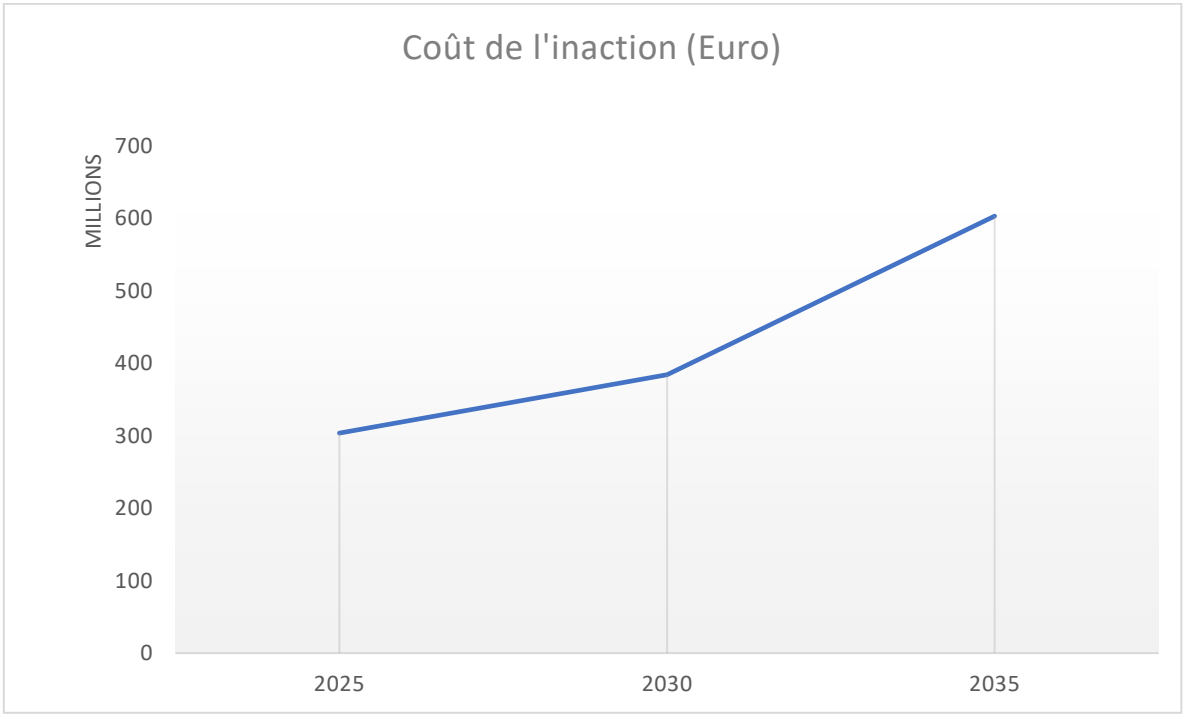
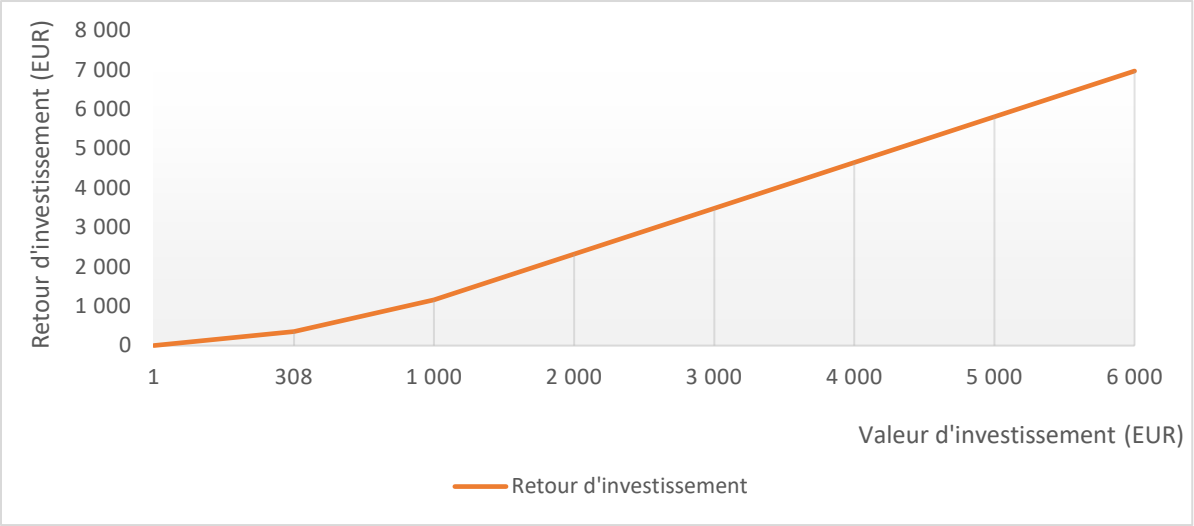


Figure 16 : Coût de l'inaction liée au stockage de carbone du sol

D'un autre côté le coût d'investissement pour mettre en œuvre l'action dépend du type d'action, mais l'exemple pris ici est de 308 € pour 1 ha de terre agricole selon le Projet de protection et réhabilitation des sols (Prosol GIZ, EcoConsult et GOPA, 2018). Ainsi rapporté à l'ensemble des forêts et surfaces agricoles de la région Boeny en 2018, le coût de l'action s'élève à 241 947 552 €.

Le retour d'investissement actualisé obtenu est de 1,16 après 16 ans d'activités. Investir 308 € en 2019 rapporterait un cumul de 1643 € (357 € en valeur actualisée) en 2035.



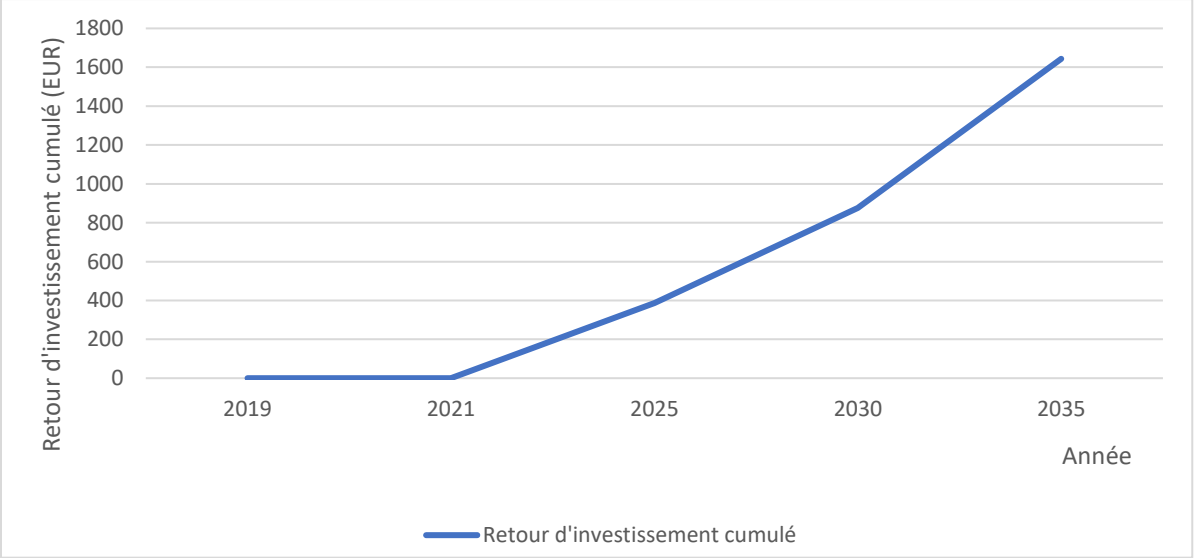


Figure 17 : Retour d'investissement généré par l'action

3. Gestion des feux à l'échelle de l'exploitation agricole

3.1. Système d'exploitation agricole

Les enquêtes de terrain menées auprès des ménages de la région Boeny ont permis de décrire et comprendre les itinéraires techniques, les systèmes d'exploitation de manière générale et les pratiques agricoles. En analysant les coûts et bénéfices de production (Agriculture et élevage) des ménages, les excédents bruts d'exploitation (EBE) ont été obtenus. En règle générale, l'EBE est un indicateur évalué sur une année permettant de déterminer les revenus que chaque ménage tire régulièrement de son cycle d'exploitation (les bénéfices bruts).

3.1.1. Moyen de subsistance

D'une manière globale, 85% des ménages enquêtés dans la région pratiquent une activité mixte c'est-à-dire à la fois agriculture et élevage. 1% pratiquent l'élevage pure ou élevage sans agriculture comme moyen de subsistance et les 14% restants pratiquent l'agriculture.

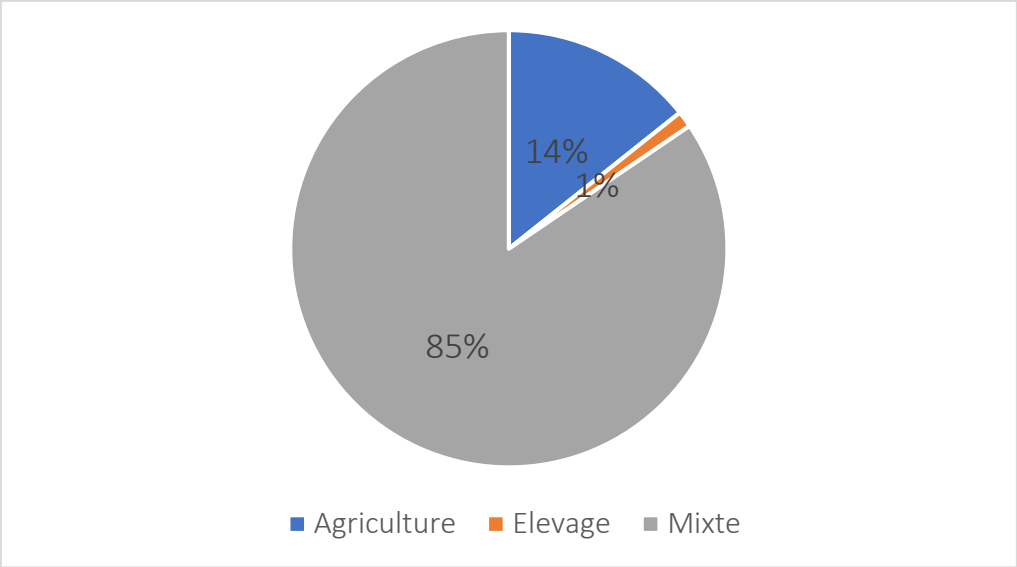


Figure 18 : Répartition des ménages selon les activités entreprises

3.1.2. Forme de sécurisation foncière

Pour ce qui est de la sécurisation foncière, la majorité soit 38% des ménages enquêtés comme utilisateurs de parcelles attribuent une certaine importance à la sécurisation foncière à travers les certificats fonciers déclarés à la Commune. 17% arrivent même à traverser les longues procédures d'obtention du titre foncier et 7% appliquent une sécurisation au niveau local au niveau des chefs de village (carnet Fokontany). La partie restante correspond aux 15% qui ne possèdent aucun papier justifiant leur occupation de la terre et aux 23% qui n'ont pas pu répondre à cette question soit par faute de connaissance soit par abstention.

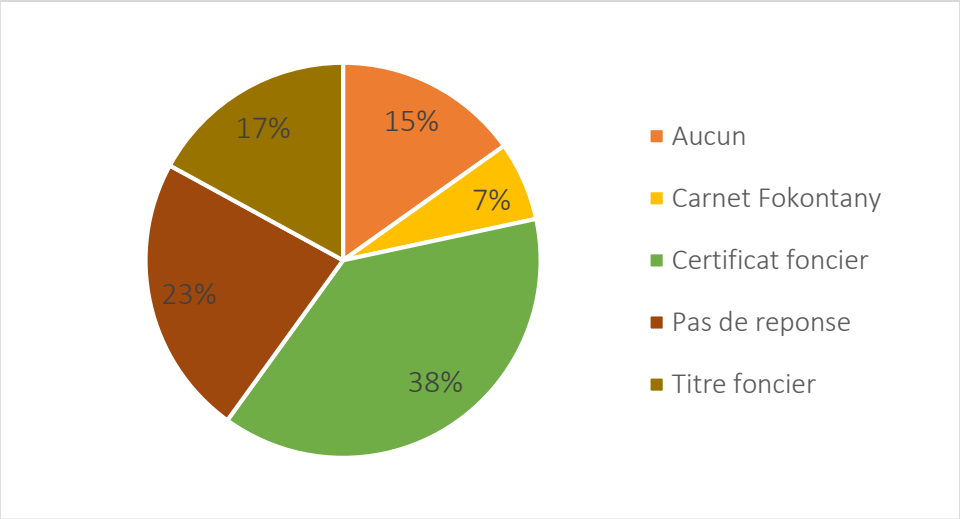


Figure 19 : Différentes valeurs de sécurisation foncière dans la région Boeny

3.2. Rôles des feux dans l'exploitation agricole

3.2.1. Influence sur le système d'exploitation

3.2.1.1. Relation avec les formes de sécurisation foncière

Une relation a pu être observée entre les formes de sécurisation foncière adoptée par les paysans et la fréquence de la pratique du feu. En effet, des feux plus fréquents (plus de 2 fois en 6 ans) occurrent sur les parcelles ne disposant d'aucune forme de sécurisation foncière (figure 20).

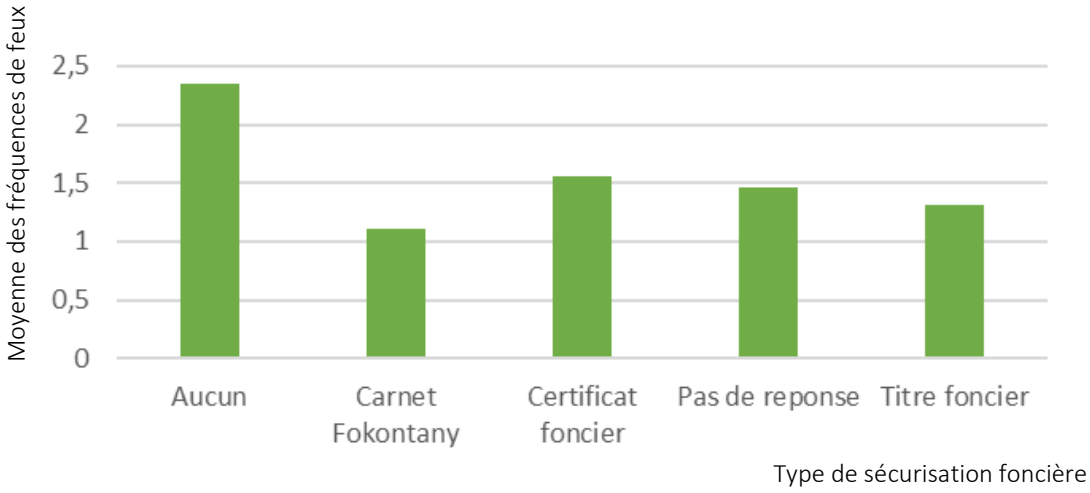


Figure 20 : Répartition des moyennes en fréquence de feux selon les formes de sécurisation foncière

Cela peut être due aux stratégies d'extensifications qui sont clairement identifiées dans la zone et qui se matérialisent soit par des zones de cultures sur brûlis qui donnent d'ailleurs des EBE élevés, soit par des extensification sur des terres dégradées mais avec des options de fortes intensifications et d'utilisations d'intrants chimiques et de pesticides (tableau 6).

Tableau 6 : EBE par type de sécurisation foncière

Sécurisation foncière	Intrants agricoles	EBE (Ar)
Aucun*	Sans intrants[2]*	1 250 583*
	Intrants organiques + Intrants chimiques + Pesticides*	2 170 896*
Carnet Fokontany		1 134 503
Certificat foncier		1 238 789
Titre foncier		1 234 056

3.2.1.2. Relation avec la proportion autoconsommation/vente

La proportion entre l'autoconsommation et la vente des produits est une variable significative dans l'ensemble des données rassemblées. En effet, il s'est avéré que les personnes privilégiant les ventes de produits agricoles utilisent davantage les techniques intégrant les feux que les personnes vendant seulement une petite partie de la production. Pour ce qui est de la répartition de ces types de personnes parmi les enquêtés, 37% des ménages témoignent d'une proportion de produit agricole vendue relativement basse (soit moins de 25% de la production vendue pour plus de 75% autoconsommation). Ces ménages ont d'ailleurs leur système d'exploitation tourné vers la production familiale, et les ventes interviennent uniquement en cas de besoins de liquidité, généralement suite à des événements imprévus (maladie, évènements familiaux) (figures 21 et 22).

[2] * : significatif

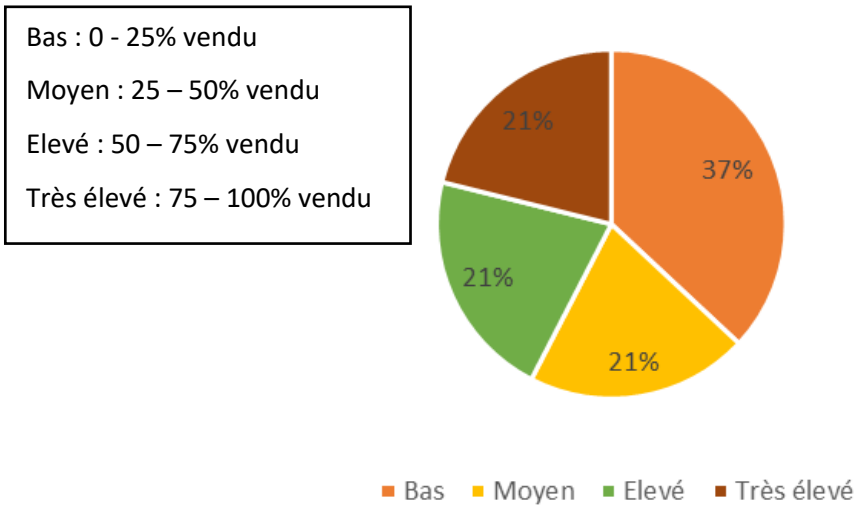


Figure 21 : Répartition des ménages par rapport à l'importance de la vente des produits agricoles

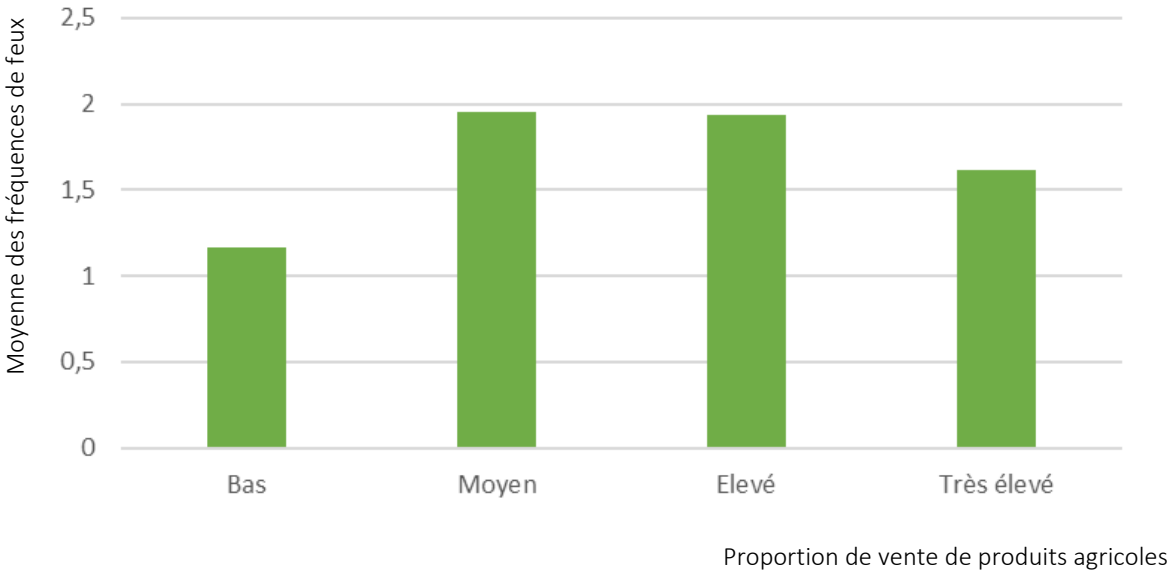


Figure 22 : Moyenne de fréquence des feux par proportion de vente des produits agricoles

3.2.1.3. Relation avec l'EBE

L'impact du feu sur l'EBE n'est significatif que lorsque l'EBE des deux années d'exercice sont cumulés. Cela s'explique par le fait qu'une grande majorité de la production issue du premier exercice est stockée pour être investie à l'année suivante (semence, animaux, etc.,). Et aussi que les retombés des pratiques du feu ou des bonnes pratiques ne se manifestent pas tout de suite dans la même année d'exercice.

L'investissement des ménages ne sont donc significatifs qu'au-delà de deux années d'exercice. L'impact du feu de l'année n n'est perçu qu'à la fin de la deuxième année n+1 avec un cumul de l'EBE (r2 = -0,75, p-value = 0,042). L'influence dans l'EBE est observée principalement au niveau des « épargnes » et non au niveau des rendements ni de la proportion de vente. De plus, cette épargne est consacrée uniquement à l'élevage qui demeure le « seul placement » possible pour le paysan.

Ce type de réponse observée au niveau du paysan est d'un intérêt double car l'élevage se présente comme une solution d'investissement pour le paysan après utilisation de feux pour le maintien d'un capital en cas de risque (vente rapide en cas de besoins de liquidité avec une rentabilité plus élevée que la plupart des autres spéculations agricoles pratiquées. Or, cette activité permet également d'améliorer la gestion potentielle de la fertilité avec des apports de matières organiques qui devraient être plus valorisés (meilleure intégration élevage/agriculture et intensification progressive de l'élevage).

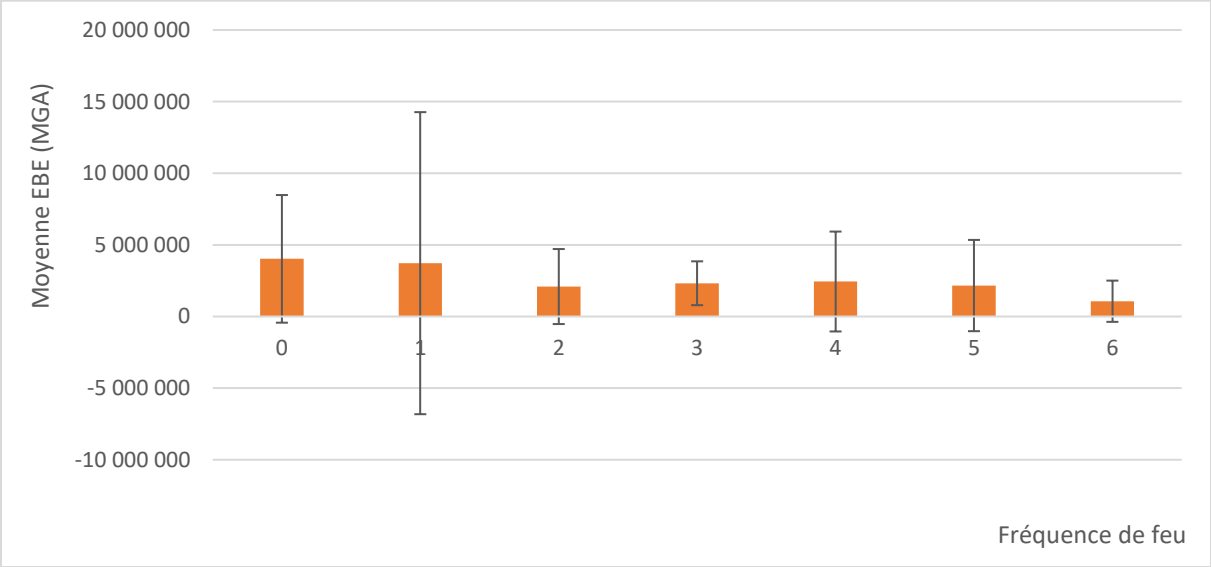


Figure 23 : Variation de l'EBE en fonction de la fréquence de feux observés pour 2013-2018

3.2.2. Influence sur le COS

Les parcelles agricoles sont les seules parcelles victimes d'un passage de plus de 3 feux en 6 ans. Cela est due au fait que 42% des agriculteurs ont recours au feu de nettoyage (élimination des résidus de récolte et des broussailles avant de planter), ce qui se pratique presque chaque

année (selon les résultats d'enquête). Plus la fréquence de feu augmente, plus la teneur en COS diminue (r^2 = -0,73, α = 0,05) car lorsqu'il y a feu, la couverture végétale protégeant le sol disparaît, ce qui favorise son érosion. L'érosion conduit à une redistribution et à la perte d'une partie du COS, puisque les particules de sol sont déplacées, d'où la diminution de COS due au feu (Peter *et al*., 2018). D'un autre côté, suite au passage de feu, si la végétation est rétablie, la perte est plus réduite et une certaine récupération de carbone est possible grâce à la matière organique apportée (De Moraes *et al*.,1996). Mais plus le passage de feu est fréquent, plus le sol a du mal à se restaurer et la quantité de COS baisse au fur et à mesure. Toutefois, le taux de COS augmente soudainement après 3 passages de feux en 6 ans. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'après 2 passages de feu, la dégradation du sol (baisse du taux de COS, baisse de la productivité) est considérable et les paysans décident d'intervenir à ce moment pour faire plus d'apport d'engrais.

3.3. Modélisation des scénarii d'action et d'inaction

Une réduction des feux de 2% par an occasionnerait des surplus d'EBE de 782 €, 1463 € et 2145 € en 2025, 2030 et 2035 par rapport à l'inaction, soit des augmentations respectives de 49%, 90% et 126% par rapport au scénario de BAU.

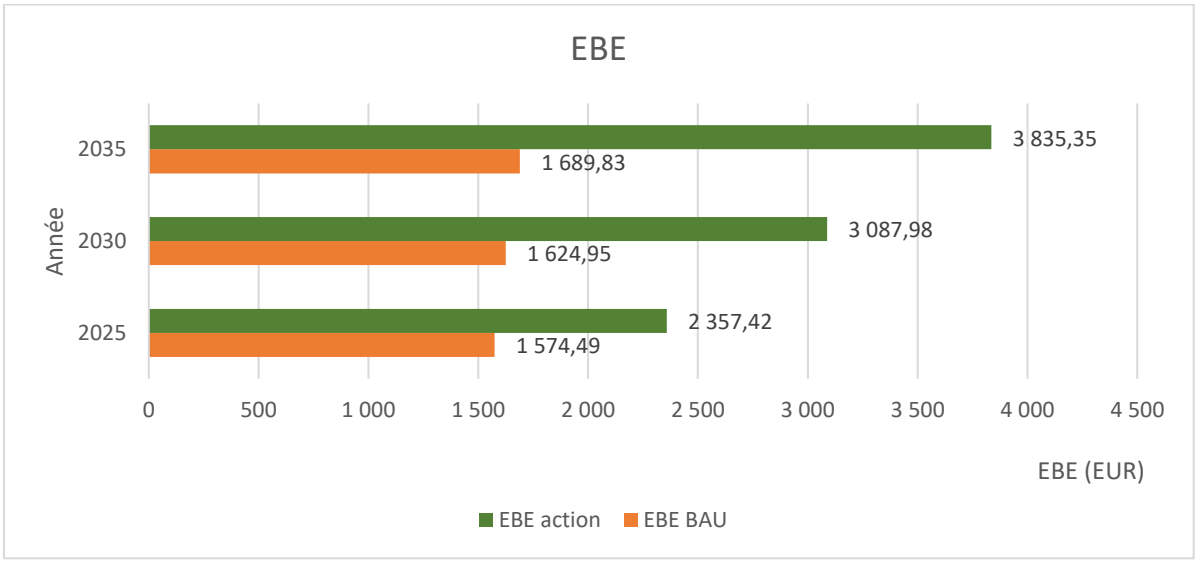


Figure 24 : Comparaison de la valeur de l'EBE (en Euro) si action et inaction

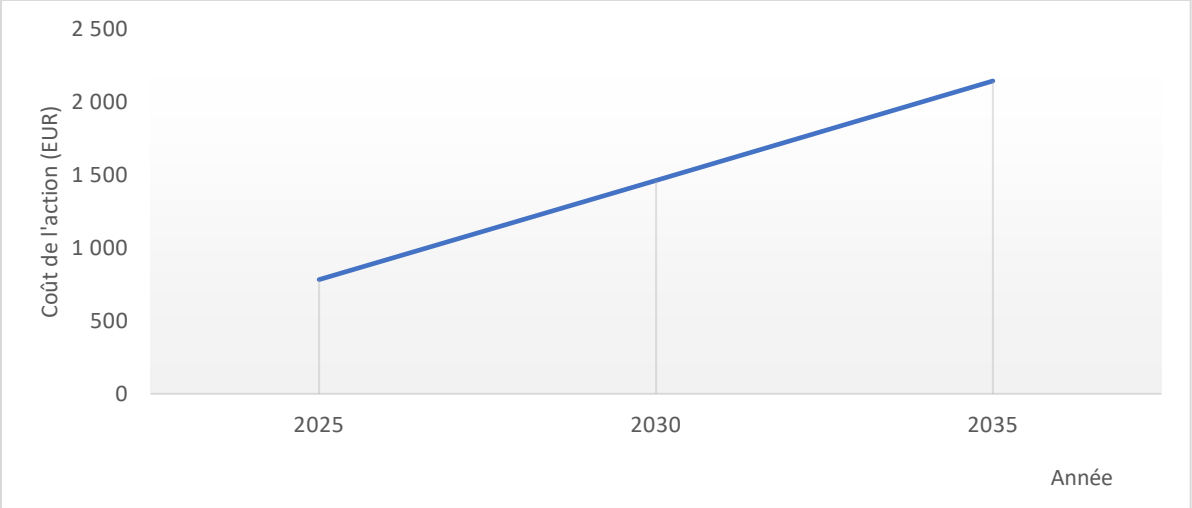


Figure 25 : Coût de l'inaction (en Euro) liée à l'EBE des ménages

En prenant le même coût d'investissement de 308 € le retour d'investissement après 16 ans est de 6,97 soit 1,52 en valeur actualisée. Investir 308 € en 2019 rapporterait environ 2145 € en 2035.

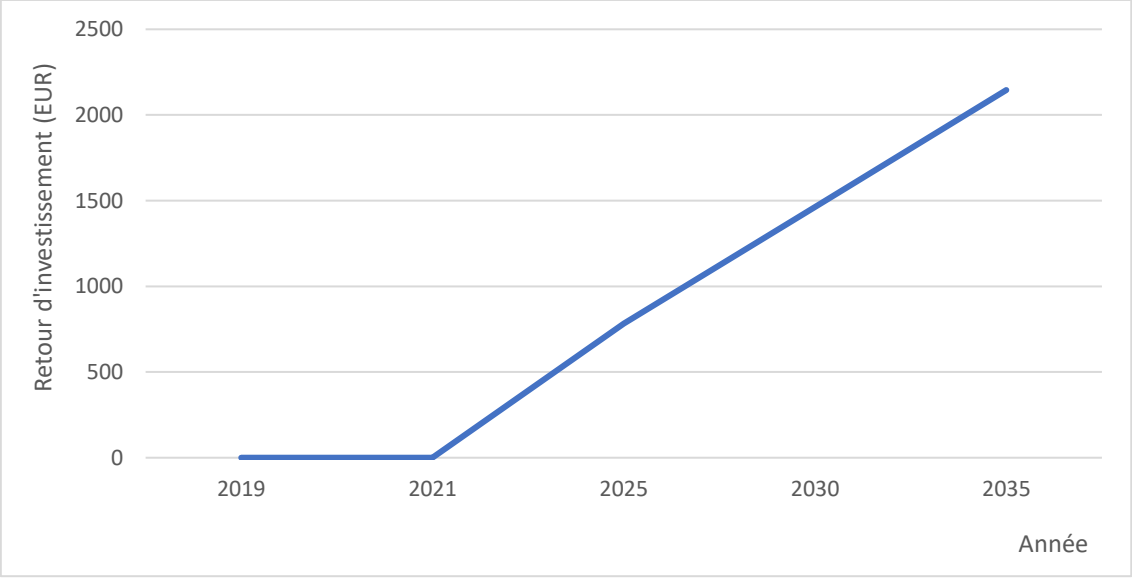


Figure 26 : Retour d'investissement généré par l'action

4. Implications pour le renforcement de capacités et l'accompagnement des acteurs

La Décision 8/COP.13 sur le renforcement de la mise en œuvre de la CNULD à l'appui du Programme de développement durable à l'horizon 2030 met en exergue la nécessité de renforcer les capacités des pays par l'amélioration, l'intensification et la promotion du renforcement des capacités.

En effet, pour soutenir la politique et les lignes d'actions, il est nécessaire de former des cadres supérieurs capable de créer, de gérer et d'analyser des données sur la dégradation et la gestion durable des terres, et de nourrir par conséquent les processus de prises de décisions politiques.

Dans ce sens, le parcours de Master LLandDev (parcours spécifique en Master 2 après un cursus de Master 1 de 4 ans en foresterie et environnement déjà en place). D'ailleurs, la validation du parcours a été préparée en amont de la mise en œuvre du projet afin d'avoir dans l'année en cours les premiers étudiants en parallèle avec l'étude sur la dégradation des terres. Le parcours a été habileté à être dispensé le 26 Novembre 2018 suivant un arrêté du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (Annexe 8). Pour être opérationnel, plusieurs travaux des enseignants en charge du parcours ont permis de développer à la fois le syllabus du parcours (Annexe 9) ainsi qu'un programme de recherche qui repose sur (Annexe 10) :

- La consolidation des données existantes et d'une base d'information utile pour la prise de décision. Cela comprend aussi bien les éléments de la recherche appliquée, notamment dans les données biophysiques ainsi que dans les domaines des sciences sociales et économiques ;
- La promotion d'une veille scientifique technique et politique, nationale ou internationale, et de prospective sur les grands enjeux liés à l'aménagement du territoire, l'écologie du paysage, les systèmes socio-économiques et les opportunités d'une croissance verte.
- Le développement d'outils opérationnels issus de la recherche scientifique pour être mis à la disposition des décideurs locaux, régionaux et nationaux, dans une approche pluridisciplinaire et en intégrant les spécificités locales.

- Le renforcement à une prise de décision éclairée permettant des arbitrages en trouvant un équilibre entre l'urgence environnementale et l'impact socio-économique. Il faut reconnaître un certain décalage dans le temps entre le temps de la recherche et l'urgence de la décision. Cela implique une forme d'anticipation alimentée par une veille scientifique et de prospective.

Le parcours est maintenant soutenu financièrement par l'Etat pour la prise en charge des cours (enseignement) et pourra ainsi être dispensé de manière permanente chaque année. Au cours de cette année, 8 étudiants de Master participent au parcours LLandDev.

L'analyse économique des coûts de l'action et de l'inaction n'ont pas pu aboutir jusqu'à l'identification et la connaissance des détails des bonnes pratiques déjà utilisées par les paysans et qui méritent une attention particulière. De plus, les feux sont mieux maîtrisés au niveau des zones agricoles, alors que c'est loin d'être le cas dans les zones de pâturages où les questionnements sur le foncier, les options d'accès à la terre et les options d'accès à la ressource sont très complexes. Pour répondre à ces enjeux, plusieurs réunions de consultations régionales et nationales avec toutes les parties prenantes (ministères sectoriels, secteurs privés, milieu académique, société civile, partenaires techniques et financiers) ont été réalisées avec comme illustration des résultats de l'étude. De plus, avec la recrudescence des feux observés au cours de l'année 2019, un grand intérêt a été apporté jusqu'au sommet de l'Etat et qui a demandé au processus de développer une note politique et des lignes d'actions à adopter en conseil de gouvernement. Cette note retrace l'ensemble des priorités clés du pays en matière de gestion des feux et intègre à la fois la partie gouvernance intersectorielle, la prévention en amont des feux, la détection des feux, l'élimination des feux et la gestion post-feux. Elle a été adoptée en conseil de gouvernement le 06 novembre 2019 (Annexes 11 et 12).

5. Conclusions et perspectives

La dégradation des terres et la compréhension des processus de dégradation restent un grand défi environnemental à Madagascar, surtout dans la région Boeny où le feu en est une des principales causes. L'évaluation de l'impact des feux sur différents indicateurs dont le changement d'occupation des sols, le stock de carbone organique du sol et le système d'exploitation des ménages locaux, a révélé la complexité du processus. De plus, l'analyse économique des pertes occasionnées démontre l'intérêt crucial que les décideurs politiques doivent y porter.

En effet, il s'est avéré que le feu est un facteur prépondérant dans le changement des occupations du sol de la région et une meilleure gestion des feux contribuerait à la gestion durable des forêts aux alentours. Une réduction des surfaces brûlées de 2% par an pendant 16 ans permettrait de réduire la déforestation de presque 0,94% par an, soit 4/5 du dernier rythme de déforestation observé dans la Région entre 2010 et 2013 estimé par l'ONE (2015). De plus, la pratique du feu dans la région provoque une perte en carbone du sol estimé à environ 129 millions $MgCO_{2\,eq}$ par rapport à une situation modélisée de gestion des feux. En ce qui concerne les ménages ruraux, les analyses montrent que ceux qui sont plus tournés vers le marché font plus de feux que les systèmes voués à l'autoconsommation et les formes de sécurisations foncières jouent un rôle majeur dans l'occurrence des feux. En termes économique, réduire le feu induirait une augmentation du revenu des ménages de 126% après 16 ans.

La prise de mesure pour la gestion du feu s'avère donc primordiale pour résoudre les problèmes de dégradation des terres dans la région Boeny mais aussi pour améliorer le niveau de vie des paysans. A l'issue de l'étude, des recommandations s'adressant à la problématique traitée ont été développées avec les parties prenantes et servies à la rédaction d'une note politique qui a été adoptée en conseil de gouvernement. Cette note souligne les priorités clés en matière de gestion des feux en proposant des lignes d'action sur (i) les questions de coordination intersectorielle pour la gestion des feux, (ii) la mise en place d'un système de suivi permanent pour détecter les feux,(iii) la prévention en amont des feux par le biais de pratiques innovantes de mises en valeur,(iv) le renforcement des capacités au niveau locale pour une lutte active contre le feu et (v) la gestion post-feux des forêts pour une restauration systématique des

paysages forestiers dégradés. Un cursus de formation a aussi été développé afin de continuer cet élan avec un programme de recherche de 5 ans dans le domaine.

Cependant, compte tenu des impacts conséquents du feu sur la dégradation des sols, des investigations plus approfondies sur d'autres paramètres cruciaux doivent être menées, dont le suivi périodique des feux, l'analyse des pertes en terre et des pertes en nutriments principaux des sols. Des questionnements clés sur les bonnes pratiques déjà utilisées par les paysans méritent également une attention particulière ; leur implication sur le feu ainsi que leur contribution à l'atténuation ou à l'aggravation des processus de dégradation des terres. Enfin, il faut mener des analyses plus poussées sur la relation élevage et feu compte tenu de l'importance des feux dans les zones herbeuses, en envisageant la possibilité d'une approche agriculture-élevage.

6. Références

1. Abella S. R. & Zimmer B. W., 2007, Estimating Organic Carbon from Loss-On-Ignition in Northern Arizona Forest Soils, *Soil Science Society of America*, 71: 545-549.
2. Aguert M., & Capel A., 2018, Mieux comprendre les scores *z* pour bien les utiliser, *Rééducation Orthophonique, 274*, 61-85.
3. Aronson J., Cornet A., Bernoux M., Derkimba A., 2016, La neutralité en termes de dégradation des terres, Fiche d'actualité du CSFD – 2016
4. Banque Mondiale, 2011, Vulnerability, Risk Reduction, and Adaptation to Climate Change Climate Risk and Adaptation Country Profile.
5. Bastarrika A., Chuvieco E. et Martín M., 2011, Automatic Burned Land Mapping from MODIS Time Series Images : Assessment in Mediterranean Ecosystems, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, 49(9): 3401-3413.
6. Blum A., Feldman L., Bresler F., Jouanny P., Briançon S., & Régent D., 1995, Intérêt du calcul du coefficient Kappa dans l'évaluation d'une méthode d'imagerie, *J. Radiol*., 76 : 441-443.
7. Bogaert, J., Bamba, I., Kabulu, J., Koffi, K., De Cannière, C., Visser, M., & Sibomana, S., 2008, Fragmentation of Forest Landscapes in central Africa: causes, consequences and management. Patterns and Processes in Forest Landscapes: Multiple Use and Sustainable Management.
8. Bonn F., 1996, Précis de Télédétection II - Applications thématiques, Presses de l'Université du Québec/AUPELF, vol. II, 633 p.
9. Breiman L., 2001, Random forests. Machine Learning 45:15–32.
10. Buttoud G., 2001, Gérer les forêts du Sud. L'essentiel sur la politique et l'économie forestières dans les pays en développement, ISBN 2 7475 0613 4, Éditions Harmattan, 255p.
11. Caloz R., Collet C., 2001, Précis de Télédétection, III - Traitement numériques d'image de télédétection. Presses de l'Université du Québec/AUPELF, Sainte-Foy, 386 p.
12. Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec CEAEQ, 2003, *Détermination de la matière organique par incinération : méthode de perte au feu (PAF)*.MA. 1010 – PAF 1.0, Québec Canada.
13. COHEN J., 1960, A coefficient of agreement for nominal scales, *Educational and Psychological*, 20: 37-46.

14. Congalton R., 1991, A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, *Remote Sens. Environ*., **37**: 35-46.
15. Cutler, A., and J. R. Stevens. 2006. Random forests for microarrays. Methods in Enzymology 411:422–432.
16. Definiens imaging, 2004, - eCognition Professional, User Guide 4.0. Germany, 486 p.
17. ECOCONSULT et GOPA, 2018. Elaboration de concepts et mise en œuvre de la protection et réhabilitation des sols sur la base d'une approche paysagère. EcoConsult.
18. Enters T., 1998, Methods for the economic assessment of the on- and o «site impact of soil erosion, IBSRAM Issues in Sustainable Land Management No. 2. Bangkok: IBSRAM, 60 pp.
19. Eric B. et Martial B., 2000-2002, *Déterminants des stocks de carbone des sols des Petites Antilles (Martinique, Guadeloupe). Alternatives de séquestration du carbone et spécialisation des stocks actuels et simulés.* Ministère de l'écologie et du développement durable.
20. Etc Terra – Rongead, 2018, *Guide d'évaluation de l'empreinte environnementale d'un projet agroécologique et d'aménagement de parcelles de montagnes.* Projet foresterie et agroécologie en zone de montagne au Nord-Laos, Viengkham, province de Luang Prabang FORAE Nord-Laos.
21. Global Mechanism, 2018. Country Profile of Madagascar. Investing in Land Degradation Neutrality: Making the Case. An Overview of Indicators and Assessments. Bonn, Germany.
22. Grinand C., Brossard M., Bernoux M., Razafimbelo T., 2009, Estimation des stocks de carbone dans les sols de Madagascar, in Etude et gestion des Sols, Volume 16 : 23 – 33.
23. Jensen J. R., 1996, - Introductory Digital Image Processing - A remote sensing perspective, 2nd edition. Prentice Hall, Upper Saddle River (N.J.), 316 p.
24. Kaiser J.W. et Van der Werf G.R., 2017, Biomass Burning. In: 'State of the Climate in 2016, Bull. Amer. Meteor. Soc., 98(8) : S58–S59.
25. Kauffman J. B. & Donato D. C., 2012. *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests*. CIFOR. Bogor, Indonésia: Working Paper 86.
26. Key C.H. et Benso, N.C., 2006, Landscape assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. In:

Lutes, D.C., Kean, R.E., Caratti, J.F., Key, C.H., Benson, N.C., Sutherland, S. et Gangi, L.J. (Eds.): Landscape Assessment (LA), Sampling and Analysis Methods. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD. LA-1-55.

27. Lal R., 1994, Sustainable land use systems and soil resilience. In: Soil Resilience and Sustainable Land Use, 41–67. Wallingford: CABI.
28. Lau C., 1997, - "Geomorphologic Distribution of Normalized Difference Vegetation Index". Proceedings online of the Asian Conference on Remote Sensing(ACRS), (http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1997/ts10/ts10004.asp).
29. Leroy M., Derroire G., Vendé J., Leménager T., 2013, La gestion durable des forêts tropicales. AFD. A savoir 18. 235p.
30. Martin M., 1998, Cartografia e inventario de incendios forestales en la peninsula ibérica à partir de imàgenes noaa-avhrr, Departmento de Geografia. Alcalà de Henares, Universidad de Alcalà.
31. Ministère de l'Environnement, de l'Ecologie et des Forêts, 2015, Plan d'Action National sur la lutte contre la Désertification aligné au plan cadre stratégique décennal 2008 - 2018. UNCCD.
32. Ministère Du Développement Durable, De L'environnement Et Des Parcs Du Québec, 2010, Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 5 – Échantillonnage des sols, Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Édition courante.
33. Office National de l'Environnement, Direction Générale des Forêts, Madagascar National Parc, Worldwide Conservation Society & Etc Terra, 2015, Changement de la couverture de forêts naturelles à Madagascar 2005-2010-2013. Antananarivo. 21p., 21 pl. A3 & cartographie A0.
34. Pender J., 2009, Food Crisis and Land: The World Food Crisis, Land Degradation, and Sustainable Land Management: Linkages, Opportunities, and Constraints, s.l.: TerrAfrica and GTZ
35. Pieri C., 1995, Long-term soil management experiments in semi-arid francophone Africa . In Soil Management : Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality, ed. R. La1 and B.A. Stewart, pp. 225–266. Advances in Soil Science.

36. Prasad A. M., Iverson L. R., and Liaw A., 2006, Newer classification and regression tree techniques: bagging and random forests for ecological prediction. Ecosystems 9:181–199.
37. Rabarison H. S., 2014, Analyse comparative du stock de carbone sous mangrove par la méthode Loss On Ignition (L.O.I) et Walkley-Black (W.B) et étude des facteurs de stockage de Carbone organique du sol dans la baie d'Ambaro-Ambanja. Mémoire d'Ingéniorat au grade Master en Foresterie et Environnement, ESSA-forêts, Université d'Antananarivo
38. Rebefiraisana H. J., 2015, *Analyse des paramètres physico-chimiques des sols de Kianjasoa, d'Ambohitsaina et d'Ambatobe.* Rapport de stage (G/DHD)
39. Richard Cutler D., Thomas C. Edwards Jr., Karen H., Beard, Adele Cutler, Kyle T. Hess, Jacob Gibson, and Joshua J. Lawler, 2007 Random forests for classification in ecology. Ecology 88:2783–2792.
40. Richards J., 1999. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Berlin: Springer-Verlag. 240 pp.
41. Roose E., 1985, Dégradation des terres et développement en Afrique de l'Ouest, ORSTOM.
42. Schulz J. J., Cayuela L., Rey-Benayas J. M., & Schroder B., 2011, Factors influencing vegetation cover change in Mediterranean Central Chile (1975–2008). Applied Vegetation Science, 14(4), 1–12.
43. Shahidul Islam, Md., & Ahmed, R., 2011. Land use change prediction IN Dhaka city using GIS aided markov chain modeling. Journal of Life and Earth Science, 6, 81–89
44. Sims, N., Green, C., Newnham, G. J., England, R. J., Held, A., Wulder, A. M., & Herold, M., 2017. Good Practice Guidance, SDG Indicator 15.3.1. Proportion of Land That Is Degraded over Total Land Area.
45. Soltner D., 2011, *Les bases de la production végétale Tome 1. Le sol et son amélioration 2011.*
46. Stroppiana D, Boschetti M., Zaffaroni P. et Brivio P.A., 2009, Analysis and Interpretation of Spectral Indices for Soft Multicriteria Burned-Area Mapping in Mediterranean Regions, IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS, 6 (3): 499-503.
47. Williams M., 2000, Dark ages and dark areas: global deforestation in the deep past. *Journal of Historical Geogr*aphy 26(1): 28-46.

48. Yoro G. et Godo G., 1989, *Les méthodes de mesure de la densité apparente ; Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné*. Laboratoire de Pédologie, Laboratoire d'Agronomie, Côte d'Ivoire.

Annexe 1 : Méthodologie détaillée

Partie A1-1 : Présentation de la région Boeny

Boeny est l'une des vingt-deux (22) régions de Madagascar. Elle se situe dans la partie Nord-Ouest de l'île, entre S15°12'3.37'' et S17°21'52.9'' de latitude et E44°52'8.32'' et E47°26'11.41'' de longitude. Elle est frontalière de la Région de Sofia au Nord-Est, de Betsiboka au Sud et de Melaky à l'Ouest. La Région occupe une superficie totale de 30 315 km² soit environ 5% de celle du pays.

Figure 27: Situation géographique de la Région Boeny

La Région Boeny est subdivisée en six (06) Districts dont Mahajanga I comme Chef-lieu de Région, Mahajanga II au Nord, Soalala à l'extrême Sud-Ouest, Mitsinjo à l'Ouest, Marovoay au Sud et Ambato Boeni à l'Est. En 2015, 46 communes avec 502 fokontany forment cette Région.

Les Districts d'Ambato Boeny et de Soalala sont les plus étendus en termes de superficie. En effet, ces deux districts occupent à eux seuls quasiment la moitié de la région (49,4%). Quatre

Districts sont desservis par la route nationale (RN4 – Vers Mahajanga ville) et RN6 (vers Diego partant de la ville d'Ambondromamy).

Tableau 7 : Superficie des six districts de la Région Boeny

District	Superficie (en Ha)	Proportion (%)
Ambato Boeny	815 851	26,9
Mahajanga I	5 818	0,2
Mahajanga II	481 229	15,9
Marovoay	568 579	18,8
Mitsinjo	478 227	15,8
Soalala	681 754	22,5
Surface totale	**3 031 458**	**100**

Le climat de la région est de type tropical sec caractérisé par une période chaude pendant sept mois, et une saison pluvieuse de cinq mois (octobre à avril). La pluviométrie totale moyenne varie de 1 000 à 1 500 mm par an. La température moyenne annuelle est de 27,64°C (26°C pendant la saison sèche et 28°C pendant la saison chaude et humide). Par ailleurs, la région est régulièrement visitée par les cyclones.

La Région Boeny est drainée par un réseau hydrographique dense permettant la dynamisation des activités de transport (fluvial et maritime), des activités agricoles et de pêche ainsi que la production d'énergie. D'ailleurs, la Région est réputée par la présence du deuxième grenier à riz national avec l'aménagement de la grande plaine de Marovoay. Les principaux fleuves présents dans la zone sont : Betsiboka, Mahajamba et Mahavavy. La Région est aussi marquée par la présence du deuxième lac le plus étendu de l'île en superficie (Kinkony).

La configuration topographique de la région se calque sur la disposition en bandes concentriques des unités géologiques qui développent de vastes étendues planes à moins de 800 m d'altitude en moyenne. Par endroits, ces formes tabulaires sont accidentées par des

intrusions volcaniques et par des affleurements rocheux massifs donnant les principaux reliefs de la région constituée en majeure partie par des plaines qui longent les grands fleuves et la côte maritime.

En matière de pédologie, la région contient 21 types de sols répartis dans 5 classes de sols différentes qui sont : classe des sols minéraux bruts, classe des sols peu évolués d'apport, classe des sols calcimagnésiques, classes des sols à sesquioxyde de fer, classe des sols hydromorphes (Annexe 4).

- Les sols ferrugineux tropicaux sur tanety en bordure des bassins versants qui dominent sur une large bande allant de Soalala au sud Mitsinjo, centre d'Ambatoboeny jusqu'à l'est de Marovoay (~1 400 000 ha) ;
- Les sols lithiques, sols minéraux bruts et peu évolués d'érosion sur les plateaux qui ne se prêtent guère à la mise en valeur (635 000 ha)
- Les baiboho ou sols alluviaux, d'une superficie de 240 000 ha qui se trouvent sur les bourrelets de chaque berge des grands fleuves. Ce sont des terres cultivables situées dans les plaines de Marovoay, Mahajanga II, Mitsinjo, Ambatoboeny.
- Les sols halomorphes et hydromorphes se rencontrent dans le bassin sédimentaire de Mahajanga, dans les zones de mangroves dans les deltas des grands fleuves et autours du lac Kinkony (204 000 ha)

Boeny fait partie de l'écorégion de l'Ouest caractérisée par la présence de forêts tropicales denses sèches caducifoliées. Elle a une grande diversification écosystémique. Les formations végétales sont très variées grâce aux conditions biogéographiques du milieu : des mangroves, des forêts denses sèches, des forêts ombrophiles, des savanes arborées et arbustives, des formations marécageuses et des fibres végétales telles que les raphias et les satrana (*Bismarckia nobilis*).

La région dispose de 3 PN (Tsingy de Namoroka, Ankarafantsika, Baie de Baly) et 3 NAP (Antrema, Complexe Mahavavy-Kinkony, Bombetoka-Belemboka).

Partie A1-2 : Gestion des feux à l'échelle régionale

A1-2.1. Analyse de l'occupation des sols

Afin de générer les cartes d'occupation du sol et les changements d'affectation des terres, des images Landsat ont été utilisées. Notamment, Landsat 5 pour l'occupation du sol en 2008 et Landsat 8 pour celles en 2014 et 2018.

Les *Region Of Interest* (ROI) ou zones d'entrainement ont été obtenus à partir de deux étapes consécutives (Figure 28). La première étape consistait à identifier les classes d'occupation du sol à partir d'une grille Collect Earth de 4 km x 4 km avec 1882 points dans la Région Boeny. 70% de ces points ont été ensuite utilisés comme zones d'entrainement pour une classification supervisée afin de générer une carte d'occupation du sol en 2018 validée avec 30% des points restants. La deuxième étape s'opérait par l'extraction des classes issues de la première avec une grille systématique de 1 km x 1 km (30 325 points au total dans la région), puis par l'observation des images historiques via le support Google Earth selon la période (2008, 2014 et 2018).

Six classes ont été retenues pour cette classification : Forêt, Plan d'eau, Savane, Sol nu, Terre cultivée et Zone bâtie.

Les différentes bandes des images Landsat ont été empilées avec le *Normalized Difference Vegetation Index* (indice de végétation par différence normalisé) ou NDVI, dans le but d'obtenir une classification supervisée avec Google Earth Engine.

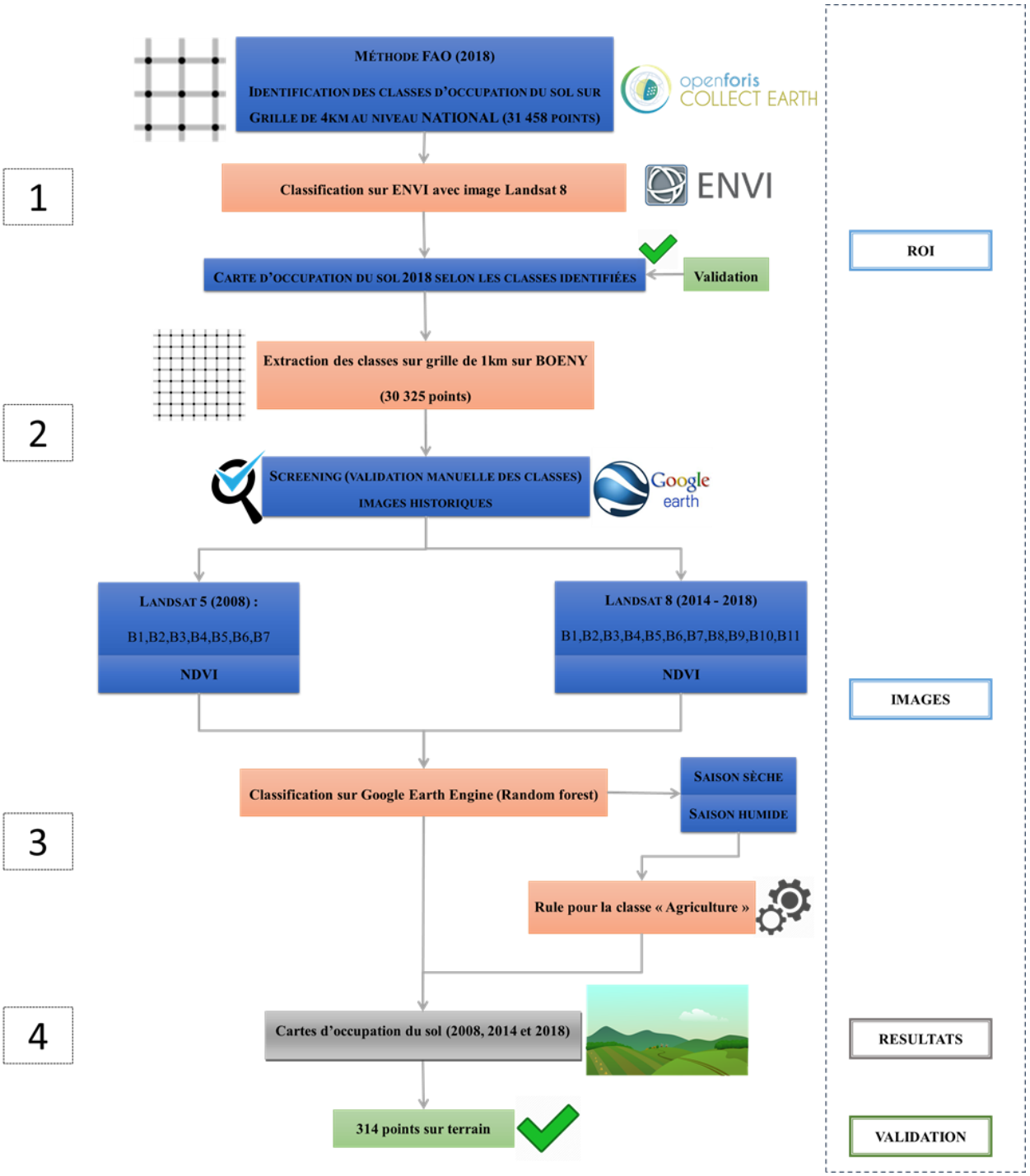


Figure 28 : Arbre méthodologique pour l'analyse de l'occupation des sols

En effet, l'indice NDVI réduit les effets d'éclairement ou de pente sur la réflectance des couverts végétaux (Bonn, 1996 ; Lau, 1997) et permet de mieux séparer la végétation (forêts, cultures) des sols nus et des surfaces urbanisées.

L'algorithme Random Forest a été utilisé, ce dernier fait partie des méthodes de calcul statistique sur l'apprentissage automatique et l'utilisation d'arbres de décision pour générer une classification (Breiman 2001). Ce type d'algorithme est déjà largement utilisé en bio-informatique (par exemple, Cutler et Stevens 2006) mais aussi en écologie (Prasad *et al.,* 2006). Random Forest est également réputé pour sa très grande précision de classification (Cutler *et al*., 2007). Néanmoins, pour bien distinguer la classe agriculture des autres classes d'occupation du sol, deux classifications, en saison sèche et en saison humide, ont été faites. Les zones classées comme agriculture identifiées en saison humide ont été retenues dans cette même classe en saison sèche car la plupart des cultures ne sont pratiquées qu'en saison humide (culture pluviale, riziculture irriguée, etc.). Pour les autres classes, la classification en saison sèche a été retenue.

A l'issue de cette méthode de classification, trois cartes d'occupation du sol en sont sorties. Celle en 2018 a été validée par des points relevés sur terrain.

Tableau 8: Matrice de confusion pour l'occupation des sols

		Points de contrôle						Total	Erreur de commission (%)	Précision (%)
		Agriculture	Forêt	Plan d'eau	Savane	Sol nu	Zone bâtie			
Classification	Agriculture	70			2	4		76	7,89	92,11
	Forêt	5	50					55	9,09	90,91
	Plan d'eau			17				17	0,00	100,00
	Savane	19			77			96	19,79	80,21
	Sol nu	2			1	41		44	97,73	2,27
	Zone bâtie						26	26	0,00	100
Total		96	50	17	80	45	26	314	0,00	100
Erreur d'omission (%)		27,08	0,00	0,00	3,75	8,89	0,00	281	314	89,4904459
Précision globale de la classification (%)		89,49								

La précision globale de la classification d'occupation des sols en 2018 est de 89,49%, ce qui signifie que le nombre de pixels bien classés est assez nombreux et la fiabilité de la classification est élevée.

Ensuite, l'accord entre les prédictions et la référence a été évalué à partir de l'indice Kappa.

Formule de l'indice Kappa (CONGALTON, 1991)

$$\widehat{K} = \frac{N\sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r} x_{+i} * x_{i+}}{N^2 - \sum_{i=1}^{r} x_{+i} * x_{i+}}$$

Avec *r* : Nombre de lignes dans la matrice de confusion

x_{ii} : Nombre d'observations sur la ligne *i* et la colonne *i*

x_{i+} et x_{+i} : Totaux marginaux de la ligne *i* et de la colonne *i* respectivement

N : Nombre d'observations total

Cette équation peut s'écrire de la manière simplifiée suivante :

Formule simplifiée de l'indice Kappa (COHEN, 1960)

$$\widehat{K} = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c}$$

Avec P_o : Pourcentage réel obtenu de la classification de la couverture forestière

P_c : Probabilité pour obtenir une classification correcte

L'indice Kappa évalue à partir de la matrice de confusion l'accord entre les prédictions et la référence. Sa valeur varie de 0 à 1 et s'interprète comme suit :

- Accord très faible de 0 à 0,20 ;
- Accord faible de 0,21 à 0,40 ;
- Accord modéré de 0,41 à 0,60 ;
- Accord important de 0,61 à 0,80
- et accord presque parfait de 0,81 à 1

(BLUM *et al.,* 1995).

L'indice kappa est égal à 86,7%, ce qui traduit une importante concordance des résultats.

A1-2.2. Analyse du carbone organique des sols

Une estimation du taux de carbone organique des sols présent pour les différentes formes d'occupation du sol (agriculture, forêt, savane, sol nu) a été effectuée. Puis, le feu étant supposé comme étant une des principales mauvaises pratiques qui dégradent le sol dans la région, son impact sur le taux de carbone organique du sol a été évalué afin de vérifier cela. La méthodologie de suivi pour l'analyse des taux de carbone organique des sols s'est déroulée en trois étapes :

- Collecte des échantillons de sols sur terrain
- Analyse des échantillons en laboratoire
- Traitements des données.

A1-2.2.1 Collecte des échantillons de sol sur terrain

a) Données à collecter

Les données à récolter à partir des échantillons sont les suivantes :

- La densité du sol
- Le taux de COS
- La teneur en N, P et K (analyse additive potentielle)
- La granulométrie (analyse additive potentielle).

b) Taille de l'échantillon

Les prélèvements de sol ont été effectués sur les même 800 points considérés pour l'analyse du système d'exploitation (cf. Analyse des données d'enquête). Toutefois, il faut préciser que les échantillons ont été répartis équitablement suivant les classes de sol observées dans la région Boeny : sols minéraux bruts, sols peu évolués, sols hydromorphes, sols à sesquioxydes de fer avec la sous-classe des sols ferrugineux tropicaux (Annexe 4). Sur chaque site, des prélèvements de sol ont été effectués sur 4 placettes disposées selon la position paysagère ou toposéquence (bas fond, bas de pente, mi-versant, sommet). 4 échantillons ont été prélevés sur chaque placette dont :

- 2 échantillons pour déterminer la densité apparente du sol et le taux de carbone (1 échantillon sur la profondeur de 0 à 10 cm et 1 échantillon sur la profondeur de 10 à 30 cm)
- 2 autres échantillons composites[3] pour déterminer la composition granulométrique et les teneurs en NPK (1 échantillon sur la profondeur de 0 à 10 cm et 1 échantillon sur la profondeur de 10 à 30 cm).

Toutefois, certains toposéquences n'ont pas pu être observés pour quelques sites d'échantillonnage, ainsi 794 placettes ont été retenues finalement au lieu de 800. Au total 3716 échantillons de sol ont donc été prélevés pour l'analyse en laboratoire.

Tableau 9 : Répartition des points d'échantillonnage par occupation du sol, type de sol et par toposéquence

Occupation du sol	Bas fond	Bas versant	Mi-versant	Sommet	Grand Total
Agriculture	**203**	**203**	**148**	**28**	**582**
Sol ferrugineux	15	162	142	28	347
Sol hydromorphe	178	2			180
Sol minéraux brut		1	6		7
Sol peu évolué	10	38			48
Forêt			**10**	**10**	**20**
Sol ferrugineux			10	10	20
Savane			**41**	**106**	**147**
Sol ferrugineux			30	106	136
Sol minéraux brut			11		11
Sol nu				**45**	**45**
Sol ferrugineux				45	45
Grand Total	**203**	**203**	**199**	**189**	**794**

c) Forme et disposition de la placette

La placette est de forme carrée de 1 mètre de côté. Les échantillons, pour déterminer les données sur le carbone et la densité apparente, sont prélevés sur les 2 sommets (en rouge sur

[3] : Les **échantillons composites** sont constitués de plusieurs prises ponctuelles de sol, chacune ayant été préalablement homogénéisée et le mélange également homogénéisé. Ils sont donc représentatifs de la composition moyenne des échantillons dont ils sont issus et caractérisent la composition moyenne d'une zone (composite spatial ou moyen horizontal) ou d'un profil vertical (composite vertical ou moyen vertical), ce qui réduit le nombre d'analyses à réaliser et diminue la variabilité intrinsèque de chaque échantillon (Pellet, 1993)

la figure 29). Ensuite, un échantillon composite est effectué pour chaque profondeur à partir des 8 points noir sur la figure 29. Une partie de ce mélange (environ 200g) est alors utilisée pour l'analyse au laboratoire (Adapté de Soltner, 2011).

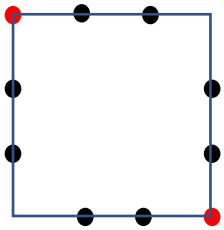


Figure 29 : Forme de la placette

A1-2.2.2 Méthode de prélèvement

Les étapes suivantes ont été suivies pour le prélèvement des échantillons :

1. Faire une fosse pédologique de 1 m x 1 m x 0,3 m
2. Couper la végétation au-dessus du point de collecte nécessaire pour le cylindre
3. Placer le cylindre creux sur le point de collecte du sol (figure 30). Ensuite, enfoncer le cylindre à l'aide d'un marteau en bois. Puis, débarrasser les terreaux à l'extérieur du cylindre par un couteau. Une pelle ou une truelle est ensuite utilisée, pour couper et soulever le sol prélevé.
4. Le trou issu du premier prélèvement doit avoir une bonne surface avec des parois stables afin d'éviter que les sols de surface ne retombent dans le fond. L'échantillon doit alors être prélevé de préférence sur les parois, à une profondeur bien définie.
5. Cette méthode d'échantillonnage est répétée jusqu'à ce que le prélèvement arrive à la profondeur finale (30 cm) de sol.
6. Une fois prélevé, l'échantillon de sol est transféré dans un contenant (sachet en plastique) approprié. Ensuite, le contenant est codifié et conservé afin de pouvoir le transporter au laboratoire dans les meilleurs délais.

Le préleveur a procédé de la façon la plus systématique possible afin de pouvoir reproduire les mêmes conditions d'échantillonnage d'un emplacement à l'autre.

Figure 30 : Procédés de collecte des échantillons de sol à l'aide du cylindre en inox dans les 10 premiers cm du sol

Figure 31 : Procédés de collecte des échantillons de sol à l'aide du cylindre en inox dans les 10 - 30 cm du sol

A1-2.2.3 Analyse du carbone du sol par la méthode de perte au feu ou LOI (Loss On Ignition)

a) Principe

La méthode « Loss On Ignition » (LOI ou perte au feu) consiste à chauffer les échantillons du sol dans un four à moufle de 400°C pendant 6 h sous air ou sous atmosphère neutre. Elle est utilisée pour faire la détermination de la matière organique par incinération (perte au feu ou perte par calcination). La quantité de masse perdue correspond à la masse de matière organique du sol qui permettra par la suite de calculer la teneur en carbone (Nelson and Sommers 1996).

Les matériels utilisés pour l'analyse en laboratoire sont présentés dans l'annexe 7.

b) Préparation de l'échantillon

Pour cette méthode, l'échantillon de sol doit être séché dans le four à moufle à 60°C. Ensuite, broyé et tamisé à 2 mm.

c) Dosage

- Nettoyer les creusets avec de l'eau distillée et laisser sécher au dessiccateur
- Prendre la masse du creuset vide. Ajouter 4 g de sol séché. Noter la masse finale.
- Calciner le sol au four à moufle à 400 °C pendant 6 heures.
- Laisser refroidir dans un dessiccateur et peser le creuset contenant les cendres.

d) Calcul et expression des résultats

Les résultats de l'échantillon sont calculés à partir de l'une ou l'autre des équations suivantes :

$$Da\ \left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{Masse\ sèche\ de\ l'échantillon \text{à } 60°C\ (g)}{Volume\ de\ l'échantillon\ \text{à}\ l'étathumide\ (cm^3)}$$

Equation 1: Formule de la densité apparente

Avec : volume v = π × r^2× h

- r : rayon du cylindre en cm
- h : hauteur du cylindre en cm

Source : Kauffman et Donato, 2012

$$COS\ LOI\ \left(\frac{Mg}{ha}\right) = \%C\ x\ Longueur\ d'intervalle(cm)\ x\ Da\ (g.cm^{-3})$$

Equation 2: Formule du carbone organique du sol

Avec : %C= Masse perdue (g)/1,724

Dont : Masse perdue = Masse du sol à 105°C (g) – Masse du sol à 400°C(g)

Le coefficient 1,724 est pris si le carbone représente 58 % de la matière organique

Source : Kauffman et Donato, 2012.

A1-2.2.4 Traitement des données

Une fois le taux de COS de chaque échantillon évalué, des tests statistiques ont permis de vérifier si :

- Les stocks de carbone varient en fonction :
    - Des occupations du sol
    - De la toposéquence
    - Du type de sol
- Le feu a des impacts sur le stock de carbone du sol

Le test de Kruskal-Wallis ($k>2$, $\alpha = 0.05$) a été utilisé pour tester si le taux de COS (variable quantitative) varie en fonction (i) des différentes formes d'occupation du sol, (ii) de la toposéquence et (iii) du type de sol (variables qualitatives). La différence entre les taux de COS observés pour les différentes modalités de chaque variable est significative si la p-value observée est inférieure au seuil de significativité α.

Quant à l'impact du feu sur le taux de COS, un test de corrélation de Spearman ($\alpha=0,05$) est utilisé. En effet, ce test permet de mesurer le degré de dépendance entre deux variables quantitatives X et Y dont la fréquence des feux et les taux de carbone organique du sol. Il est utilisé lorsque les données ne suivent pas la loi normale.

A1-2.2.5 Calcul du stock de COS total de la région

A partir des résultats des analyses précédentes, une estimation du stock total de carbone pour la région Boeny a été réalisée en prenant en considération chaque classe d'occupation du sol avec leurs valeurs de COS et leurs superficies respectives. L'erreur sur cette estimation est calculée à partir du coefficient de variation du carbone en fonction des occupations du sol (moyenne des coefficients de variation de chaque occupation du sol).

A1-2.3. Rôle des feux à dans la région

A1-2.3.1 Détection des feux et impact sur les occupations du sol

La télédétection satellitaire permet d'observer les évènements feux dans son espace à l'échelle régionale et à l'échelle globale, comme à l'échelle pluriannuelle. En générale, cette approche

peut être regroupée en deux : les feux actifs (*Active Fire mapping*) et les surfaces brûlées (*Burned Area mapping*). La cartographie des surfaces brûlées a été privilégiée puisque ce sont les surfaces brûlées qui témoignent le plus les impacts des feux. Les images multispectrales de haute résolution (30 m) LANDSAT 8 datant de 2013 à 2018 ont été utilisées pour avoir un meilleur rendu de la situation des feux dans la région.

Les indices spectraux ont été communément utilisés pour mieux discriminer les surfaces brûlées des images satellitaires. Bastarrika et *al*. (2011) préconisent la combinaison de deux ou plusieurs indices spectraux. Dans cette optique, deux indices spectraux ont été utilisés : NBR ou *Normalized Burn Ratio* (Key et Benson, 2006) et BAI ou *Burned Area Index* (Martin, 1998). NBR est l'indice spectral le plus utilisé dans les études de feux. Cet indice met en exergue les effets des feux sur la végétation et est plus performant dans les zones boisées. BAI, quant à elle, met en exergue les dépôts de cendre après les évènements feux et est plus performant dans les savanes. Par conséquent, les surfaces brûlées ont été constituées par les pixels qui ont été considérés comme « brûlés » par ces deux indices spectraux. La désignation d'un pixel comme « brûlé » se fait par le biais de valeurs seuils. Théoriquement, un pixel est « brûlé » s'il a une valeur faible de NBR faible et une valeur haute de BAI. Dans notre cas, les valeurs seuils des deux indices spectraux ont été obtenues après une visualisation en composition colorée RGB 5-4-3 (le Proche Infrarouge pour le Rouge, le Rouge pour le Vert et le Vert pour le Bleu) des surfaces brûlées (prennent une couleur noirâtre) dans les images Landsat. Dès lors, les surfaces brûlées ont une valeur de NBR inférieure à 0 et une valeur de BAI supérieure à 70.

La plateforme *Google Earth Engine* (GEE) a été mobilisée pour le calcul des indices et le traitement des scènes LANDSAT dans le temps et dans l'espace. Pour chaque année, des cartes de surfaces brûlées mensuelles ont été établies à partir de cette plateforme. Pour les analyses intra-annuelles, les cartes mensuelles ont été assemblées : celles du mois de mars, avril et mai pour les feux précoces, celles du mois de juin, juillet et août pour les feux de printanisation et celles du mois de septembre, octobre et novembre pour les feux tardifs. Les informations sur les surfaces qui ont été brûlées plusieurs fois en une année ont été obtenues après assemblage de ces trois modalités temporelles de feux. Pour les analyses interannuelles, toutes les cartes mensuelles d'une même année ont été assemblées pour avoir des cartes annuelles. Ces dernières ont été ensuite assemblées à leur tour pour avoir la fréquence de passage des feux dans la région BOENY pendant la période 2013 - 2018.

Sur base de ces traitements, toute une base de données mensuelles a été obtenue avec une identification des passages saisonniers des feux et de leurs localisations dans le temps et dans l'espace. Les feux se déroulent généralement dans des zones enclavées qui rendent difficile la validation des surfaces brûlées par des relevées GPS. Par conséquent, la validation s'est faite par la comparaison de la fréquence de passage des feux pendant les six années avec les résultats de l'utilisation des feux sur les parcelles agricoles obtenues lors des enquêtes sur terrain.

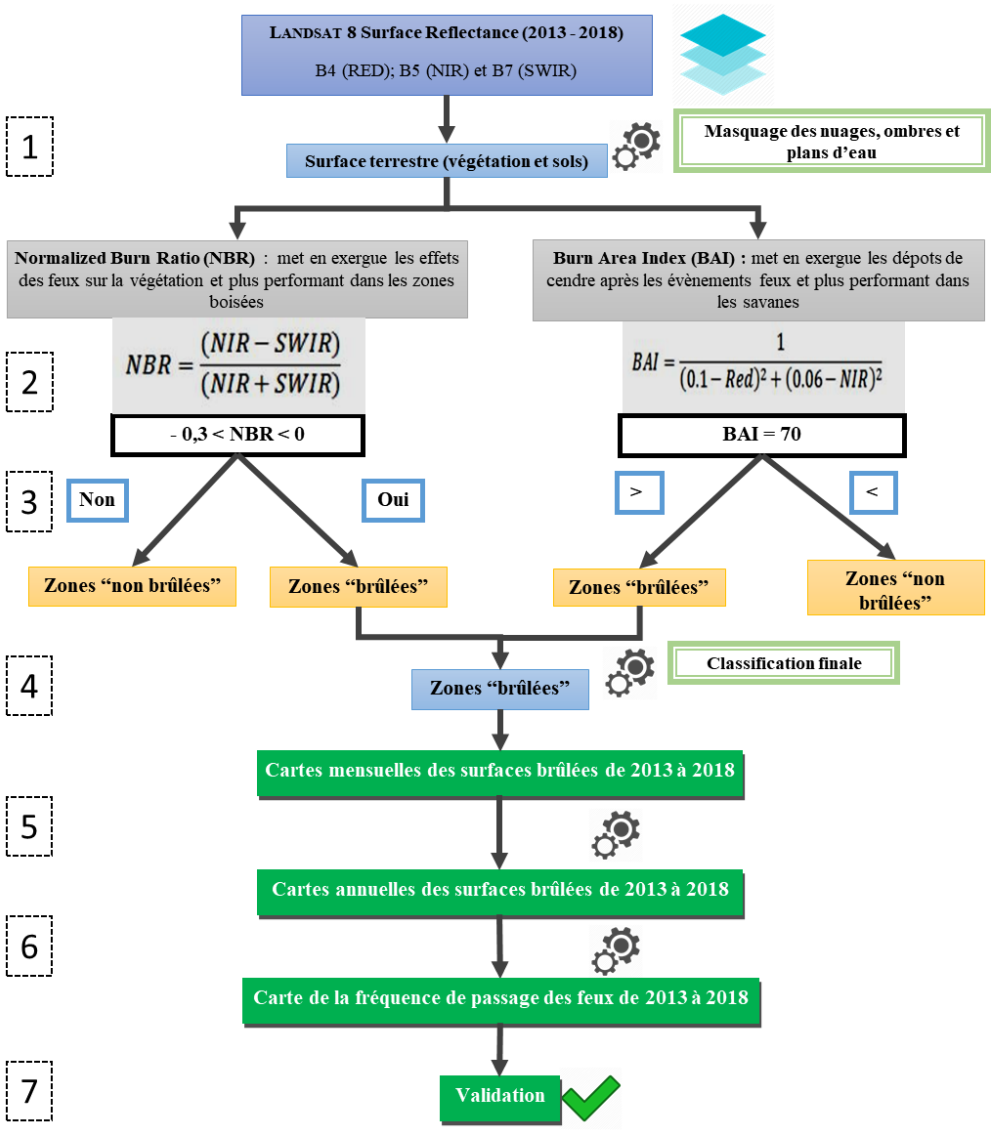


Figure 32 : Arbre méthodologique pour la détection des feux (surfaces brulées et fréquence de feux)

La période d'observation est relativement courte pour pouvoir sortir une tendance sur les surfaces brûlées dans la région.

Concernant la validation des cartes de feux, sur les 540 réponses des ménages enquêtées (sans celles qui n'ont pas répondues à la question), 429 (231 sur la présence de feux dans leurs parcelles agricoles et 198 sur l'absence) ont été en accord avec la fréquence de passage des feux obtenu après traitement. Ce qui donne une précision globale assez élevée de l'ordre de 79,44 %. Cela montre que les cartes reflètent ce qui se passe sur le terrain.

Tableau 10 : Matrice de confusion pour la carte des feux en 2018

Présence ou absence de feux sur la parcelle				
	Carte			
Enquêtes		Oui	Non	Total
	Oui	231	70	301
	Non	41	198	239
	Total	272	268	540

A1-2.3.2 Impact sur le COS de la région

L'impact du feu sur le taux de COS agricoles a été obtenu en rapportant les valeurs de COS résultant des analyses de sol à la surface totale brûlée des parcelles agricoles au niveau de la région. Puis la perte occasionnée est considérée comme la différence entre le stock s'il n'y avait aucun feu (tout est fréquence 0) et le stock réel calculé avec les situations de feux actuelles. L'équivalent CO_2 est obtenu en multipliant la valeur par 3,67 (44/12).

A1-2.4. Modélisation d'un scénario de réduction des feux

A1-2.4.1 Concernant l'impact sur les occupations des sols

Le scénario d'évolution des occupations des sols si le feu est réduit a été obtenu grâce à la modélisation spatiale. A travers cette approche, la prédiction de l'évolution de la couverture des sols a été obtenue en utilisant des facteurs clés qui pourraient influencer ce changement.

Pour cela, l'outil LCM ou Land Change Modeler a servi de base pour la quantification de cette évolution pour les dates respectives de 2025, 2030 et 2035 en prenant comme bases les dates de 2008, 2014 et 2018. Le choix de ces dates s'est porté sur la disponibilité des images

satellitaires avec un accent sur les images dépourvues de couches de nuages mais aussi et surtout pour pouvoir couvrir plus de dix ans de différence qui est un critère jugé plus que satisfaisants pour entamer une projection sur la même durée.

Cet outil, intégré dans un Système d'Informations Géographiques SIG, met en œuvre des méthodes et techniques classiques pour ce type de modélisation (chaînes de Markov, analyse statistique et réseau de neurones, automates cellulaires et allocation multi-objectifs) (Shahidul & Ahmed, 2011). Le principe général de LCM est d'utiliser l'observation des changements de types d'utilisation du sol passés, appelés transitions d'un état à un autre, pour construire un modèle de répartition de l'utilisation du sol dans le futur sur le territoire, en fonction de facteurs déterminés (physiques, géographiques, etc.).

Le modèle étant basé sur une simulation, les images de bases (que sont 2008 et 2014 dans ce cas) servent à expliquer l'évolution de l'occupation du sol dans la dernière date disponible pour ainsi contribuer à une prédiction sur des dates ultérieures. Les images de bases construisent ainsi dans un premier temps une date simulée, que nous appellerons 2018 simulée, qui elle sera validée par l'image réelle de cette même date.

Pour arriver à terme des prédictions de changement, le modèle comprend trois éléments :

- un modèle temporel fondé sur des chaînes de Markov qui pilote la probabilité générale de changement de l'utilisation du sol. Ce modèle est tiré de l'observation du rythme des changements passés.
- un modèle spatial d'allocation de probabilité de transition fondé sur un calcul statistique de type réseau de neurones (Perceptron multicouche), à partir de variables bien corrélées à l'utilisation du sol. Ce modèle produit une série de cartes indiquant les endroits où la probabilité d'un changement d'utilisation du sol est la plus forte.
- un algorithme d'allocation multi-objectif stochastique qui pilote la simulation, en calculant les changements d'utilisation du sol à chaque pas de temps, à partir des différentes probabilités qu'un changement se produise. Il alloue les nouvelles utilisations du sol en fonction des probabilités respectives et du rythme global de changement de chacune des transitions.

Le modèle repose également sur l'intégration des facteurs et/ou de contraintes explicatives qui favorisent ou non la transition d'un type d'occupation du sol à un autre (Schulz *et al.*, 2011).

- les facteurs sont d'ordre statiques ou dynamiques selon le cas, et leurs précisions sont évaluées à travers un indice probabilistique appelé indice de Cramer pouvant aller de 0 à 1. Plus celui-ci est proche de 1 plus le facteur favorise la transition du type d'occupation à un autre.
- les contraintes quant à elle reposent également sur des couches qui peuvent servir de masque au modèle, comme quoi certaines localités ne seront affectées de changement grâce aux contraintes qui peuvent y subsister. Il peut ici s'agir des aires protégées ou des zones bâties qui sont généralement des zones ne pouvant pas faire l'objet de changement dans le temps.

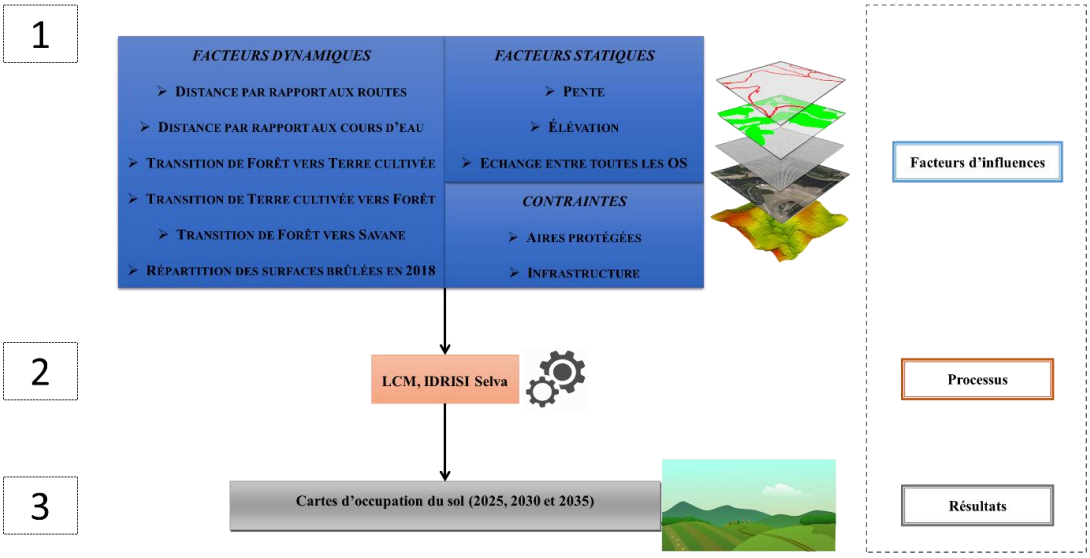


Figure 33 : Arbre méthodologique pour la modélisation spatiale des actions et inactions

La modélisation des changements d'occupations du sol de la région allant de 2025 à 2035 a été évaluée à travers les matrices de probabilité de transition qui y ont été affectées à un modèle LCM grâce aux cartes de base de 2008 et de 2014. Après intégration des facteurs et des contraintes, le modèle s'est avéré validé à 80% avec un indice Cramer de 0,83 (tableau 11). Le

facteur répartition des surfaces brulées a été le plus explicatif d'entre tous les facteurs, suivi par le facteur transition de Forêt vers savane.

Tableau 11 : Pondération des paramètres pour la modélisation spatiale

	Types	Noms	Indice de Cramer
Facteurs	Dynamiques	Distance par rapport aux routes	0,4
		Distance par rapport aux cours d'eau	0,35
		Transition de Forêt vers Terre cultivée	0,16
		Transition de Terre cultivée vers Forêt	0,66
		Transition de Forêt vers Savane	0,78
		Répartition des surfaces brûlées en 2018	0,8
	Statiques	Pente	0,44
		Élévation	0,16
		Echange entre toutes les OS	0,52
Contraintes*		Aires protégées	-
		Infrastructure	-

* ne possède pas de valeur probabilistique, limité uniquement à 0

Sur le modèle, le facteur « répartition des surfaces brûlées » a été modifié et a été délibérément diminué de 12% (soit 2% par an jusqu'en 2025). Cette diminution repose sur le cas d'un scénario d'action qui propose des actions gouvernementales de lutte contre les feux jusqu'en 2025, et permet de déduire les principales résultantes d'une diminution des feux en termes d'évolution de l'occupation du sol. Cette modification a permis de réaliser les cartes de 2025, 2030 et 2035.

A1-2.4.2 Estimation du bénéfice de l'action lié au stockage du carbone des sols

a) Estimation du coût de l'inaction lié au stockage du carbone des sols

Le coût de l'inaction sur la dégradation des sols renvoie aux gains maximaux possibles de l'action. Dans cette partie de l'étude, le coût de l'inaction sur l'appauvrissement des sols en carbone est mesuré en termes des valeurs de carbone des sols perdus, c'est-à dire la différence entre le stock de carbone d'une situation d'action et d'inaction ou de Business as Usual (BAU).

- Stock de carbone suivant le scénario de BAU

Le stock de carbone du scénario de BAU a été obtenu en rapportant les stocks moyens de carbone des deux occupations du sol à leurs surfaces respectives suivant les tendances du passé (la tendance du changement des occupations du sol reste inchangée). Compte tenu des résultats de l'impact du feu sur le carbone du sol, le stock moyen de carbone des surfaces agricoles varie en fonction des feux soit 140,8 MgC/ha pour les surfaces non-brûlées et 71,65 MgC/ha pour les zones brûlées. La proportion des surfaces brûlées et non-brûlées par rapport à la surface totale de la région sera maintenue pour le scénario de BAU.

- Stock de carbone suivant le scénario d'action

Quant au scénario d'action, le scénario d'évolution du COS est basé sur une hypothèse de réduction des surfaces brûlées de 2% par an jusqu'en 2035 qui a abouti aux résultats de changement d'occupation du sol précédent (résultat de la modélisation). Cette réduction des surfaces serait le résultat d'une prise de mesure au niveau des points de feux de la région. Par la suite, le stock moyen sera multiplié aux nouvelles surfaces obtenues. Les étapes suivies sont :

1. La superficie totale des surfaces brûlées (avec les fréquences de feu 1, 2, 3, 4, 5, 6) sera diminuée (aléatoirement au niveau des différentes fréquences) de 2% par an, soit de 12% jusqu'en 2025, 22% jusqu'en 2030 et 32% jusqu'en 2035.
2. La surface enlevée sera rajoutée aux surfaces non brûlées (fréquence 0) puisque si la surface brûlée diminue, la surface non brûlée augmente.
3. Le produit des stocks moyens avec les surfaces calculées précédemment donnera donc le stock de COS pour les différentes dates.

La différence entre le stock issu de l'action et celui du BAU équivaut à la perte occasionnée par la pratique du feu et une fois calculée en valeur monétaire donnera le coût de l'inaction.

L'équivalent CO_2 est obtenu en multipliant la valeur du COS par 3,67 (44/12).

b) Estimation du coût de l'action

Le coût de l'action correspond à la valeur de l'investissement nécessaire pour mettre en œuvre le scénario d'action. L'exemple de coût pris ici est celui de 308 € pour 1 ha selon le Projet de protection et réhabilitation des sols (Prosol GIZ) pour « une agriculture de conservation antiérosive » (EcoConsult et GOPA, 2018).

c) Bénéfice de l'action et retour d'investissement

Le bénéfice de l'action est la différence entre le coût de l'inaction et le coût de l'action. Lorsque cette différence est positive, alors agir est justifié en termes économiques. Les chiffres sur les retours sur investissement sont calculés comme le coût de l'inaction sur le coût de l'action.

Partie A1-3. Gestion des feux à l'échelle de l'exploitation agricole

A1-3.1. Analyse du système d'exploitation agricole

A1-3.1.1 Choix des ménages enquêtés

La phase d'enquêtes reposait sur un travail préalable d'échantillonnage ayant pour but d'obtenir des données représentatives et aléatoires pour effectuer un traitement de données robuste. Le nombre de ménages par district à interroger était connu à l'avance et permettait d'obtenir un échantillon de ménages enquêtés aléatoire et représentatif.

Un échantillon représentatif a été défini pour la réalisation d'enquêtes sur des parcelles représentatives de la région de Boeny. Il s'agit d'un échantillonnage stratifié, se basant sur (i) le nombre de ménages par District à partir des données du Schéma Régional de l'Aménagement du Territoire (SRAT, 2016) ; ensuite sur (ii) la représentativité par rapport à la carte de la dynamique de la productivité des terres.

a) Nombre d'échantillons suivant le nombre de ménage par district

L'échantillon a été estimé avec un niveau de confiance de 95% et une marge d'erreur de 5%. La taille initiale estimée était de 399 points, en tenant compte de la population totale et du nombre de ménages.

Tableau 12 : Estimation de l'échantillon représentatif

District	Taille du ménage moyen / District (nombre/toit)	Population totale / District	Nombre de ménage / District	Coefficient (/District)	Pondération (/District)
Ambato Boeny	6,73	254895	37889,80	0,2103	83
Majunga II	5,67	96160	16969,41	0,0942	37
Marovoay	6,27	238471	38053,88	0,2112	84
Mitsinjo	7,75	89672	11570,58	0,0642	25
Soalala	4,85	84104	20681,31	0,11	45
Mahajanga I	4,07	223484	54955,08	0,3051	121
Total	5,42	986786	180120,07	1	399

Néanmoins, une marge de 100% a été établie afin de pallier le manque de données donc la taille finale de l'échantillon était estimée à 800 points au total avec les ménages enquêtés et les prélèvements de sol.

b) Carte de la dynamique de la productivité des terres (Land Producticity Dynamics)

La dynamique de la productivité des terres décrit la trajectoire de l'évolution de la productivité dans le temps (SIMS, et al., 2017). La tendance est déterminée en calculant la cote « Z » qui correspond au nombre d'écarts types séparant un résultat de la moyenne (Aguert et Capel, 2018) dont la formule est :

$$\text{Cote } Z = (X- \mu)/\sigma$$

Avec : X : observation

μ : moyenne du groupe

σ : écart-type du groupe

La dynamique de la productivité des terres dans la région Boeny a été étudiée à partir de la tendance annuelle du NDVI sur une période de 30 ans (1989 à 2018) et de 5 ans (2014 à 2018). C'est-à-dire que pour chaque pixel, la tendance de variation du NDVI a été évaluée à partir de la dernière observation par rapport à la moyenne et l'écart-type sur 30 ans et les 5 dernières

années. Les NDVI en question ont été obtenus à partir des collections d'images Landsat de Google Earth Engine sur la période déterminée. Il est à noter que seules les images disponibles avec peu de nuages dans la zone ont été utilisées.

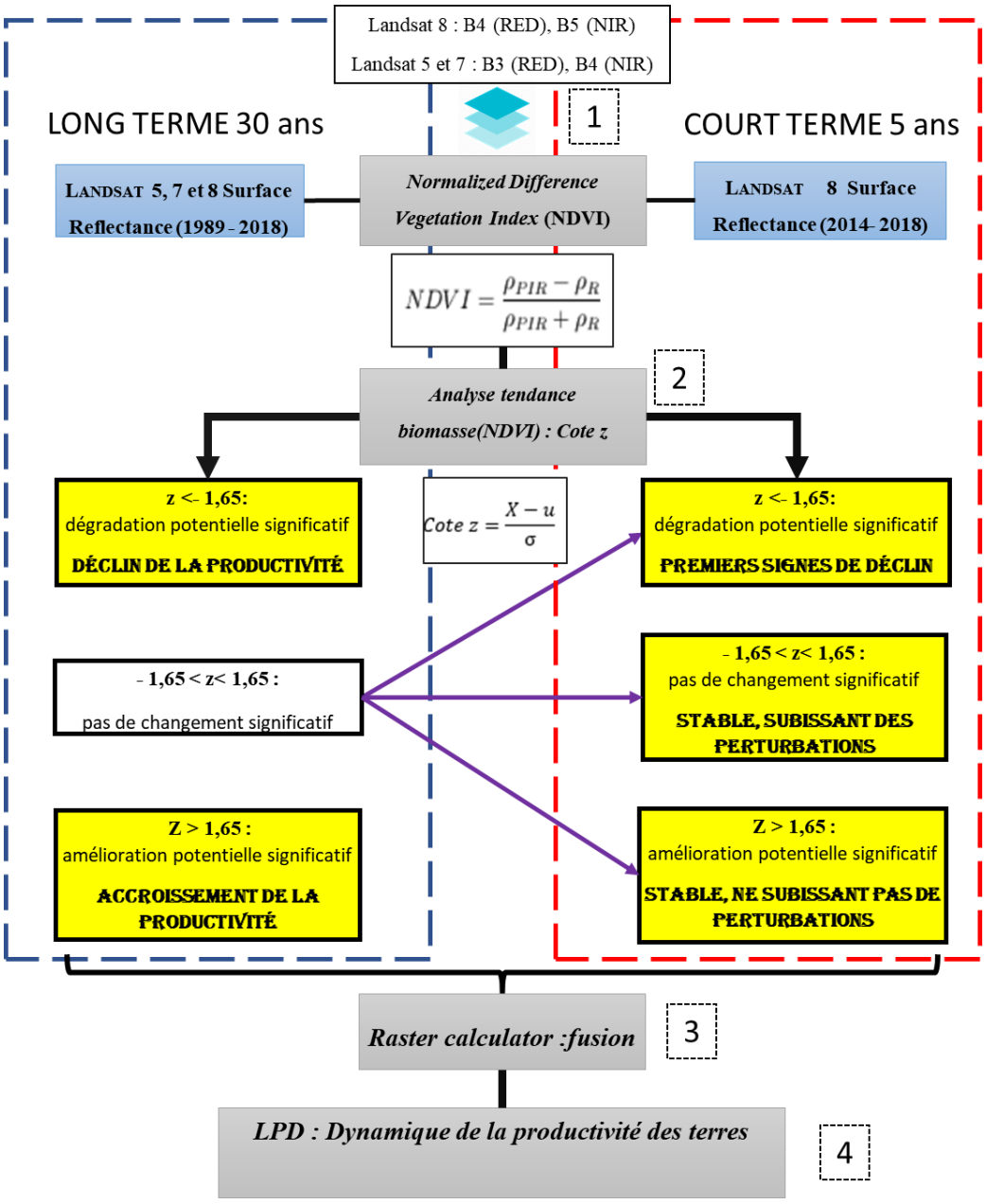


Figure 34 : Arbre méthodologique pour la dynamique de la productivité des terres

Concernant l'interprétation de Z, sur la période de 30 ans pour un seuil de signification P inférieur ou égal à 0,10 (niveau de confiance à 90%) : score Z <-1,65 désigne une dégradation potentielle, indiquée par une tendance à la baisse significative ; score Z > 1,65 indique une

amélioration potentielle, montrée par une tendance à la hausse significative et -1,65<score Z <1,65 signifie qu'il n'y a pas de changement significatif.

Puis sur une période à court terme de 5 ans (2014 à 2018), le score Z est calculé et interprété de la même manière seulement là où il n'y a pas de changement significatif (c'est-à-dire pour -1,65 <Z< 1,65 sur 30 ans). Le Module « *Raster calculator* » de ArcGis a ensuite été utilisé pour compiler le tout, d'où les 5 classes obtenues pour la dynamique de la productivité des terres :

- Dégradation potentielle, indiquée par une tendance à la baisse (Déclin de la productivité),
- Recul modéré de la productivité (Premiers signes de déclin),
- Stressé (Stable, subissant des perturbations),
- Stable avec une légère hausse (Stable, ne subissant pas de perturbations),
- Amélioration potentielle, indiquée par une tendance à la hausse significative (Accroissement de la productivité).

Tableau 13 : Classe de dynamique de productivité des terres suivant les valeurs du score Z

Valeur de Z sur 30 ans	Valeur de Z sur 5 ans	Classes
Z <-1,65		Déclin de la productivité
-1,65 <Z< 1,65	Z <-1,65	Premiers signes de déclin
	-1,65 <Z< 1,65	Stable, subissant des perturbations
	Z > 1,65	Stable, ne subissant pas de perturbations
Z > 1,65		Accroissement de la productivité

Source : Aguert et Capel, 2018

La dynamique de la productivité des terres en 30 ans dans la zone se traduit par le graphique ci-dessous, en termes de surface.

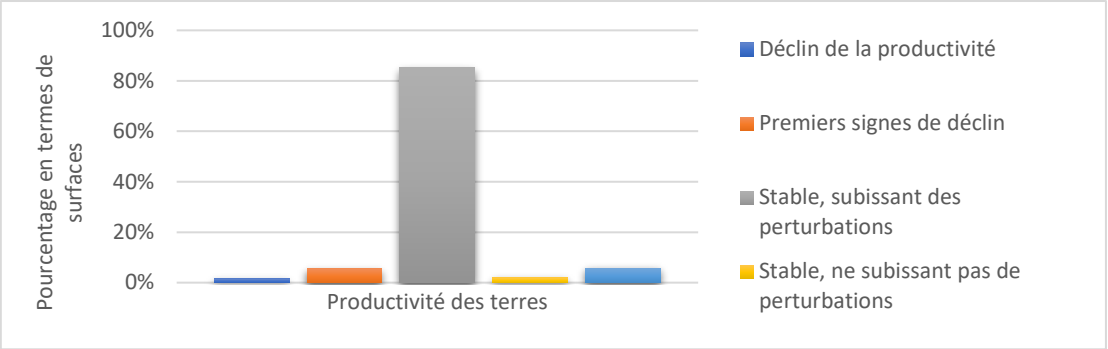


Figure 35: Proportion des surfaces par type de productivité des terres dans la région Boeny (2018)

La proportion des terres avec une productivité stable mais subissant des perturbations est assez élevée, elle représente 85,2% de la surface de la région (soit 2 582 892 ha). Ces terres sont en majorité représentées par les savanes ou zones herbeuses qui sont sujettes à des feux dans cette région. Les forêts et les zones de cultures sont en proie à la baisse de productivité, par l'effet des activités anthropiques déjà mentionnées auparavant.

Cette carte de dynamique de la productivité des terres a également servi à la répartition des points d'enquêtes et de collectes de sol pour la représentativité de la région. Les 800 points ont alors été répartis de façon aléatoire dans les 6 Districts avec 160 points pour chaque classe de dynamique de la productivité des terres (160 points x 5 classes de LPD = 800 points).

c) Confrontation des données recueillies

Après confrontation, l'échantillon des ménages enquêtés a été comparé au plan d'échantillonnage réalisé en amont de la mission de terrain, afin de vérifier si les enquêtes effectuées respectaient le plan préétabli, pour une représentativité et une analyse des données robustes.

Tableau 14 : Analyse de l'échantillonnage

DISTRICT	PONDERATION PRECONISEE (/DISTRICT)	NOMBRE D'OBSERVATIONS – ENQUETES REALISEES (/DISTRICT)
AMBATO BOENY	83	198
MAHAJANGA II	37	90
MAROVOAY	84	145
MITSINJO	25	73
SOALALA	45	41
MAHAJANGA I	121	34
TOTAL	399	581

La représentativité par district a bien été respectée pour l'ensemble des districts, excepté pour Soalala et Mahajanga I (respectivement, 41 au lieu de 45 et 34 au lieu des 121 enquêtes recommandées en raison d'absence de propriétaires des parcelles). En raison du nombre d'enquêtes réalisées (581) nettement supérieur au plan d'échantillonnage préconisé (399), cela n'impactera en aucun cas la fiabilité et la robustesse des estimations.

Après les travaux de terrain, 794 observations soit : 581 ménages (enquêtés et prélèvements de sols) et 213 prélèvements de sols sur les autres occupations, ont été retenues dans les données pour les différentes analyses.

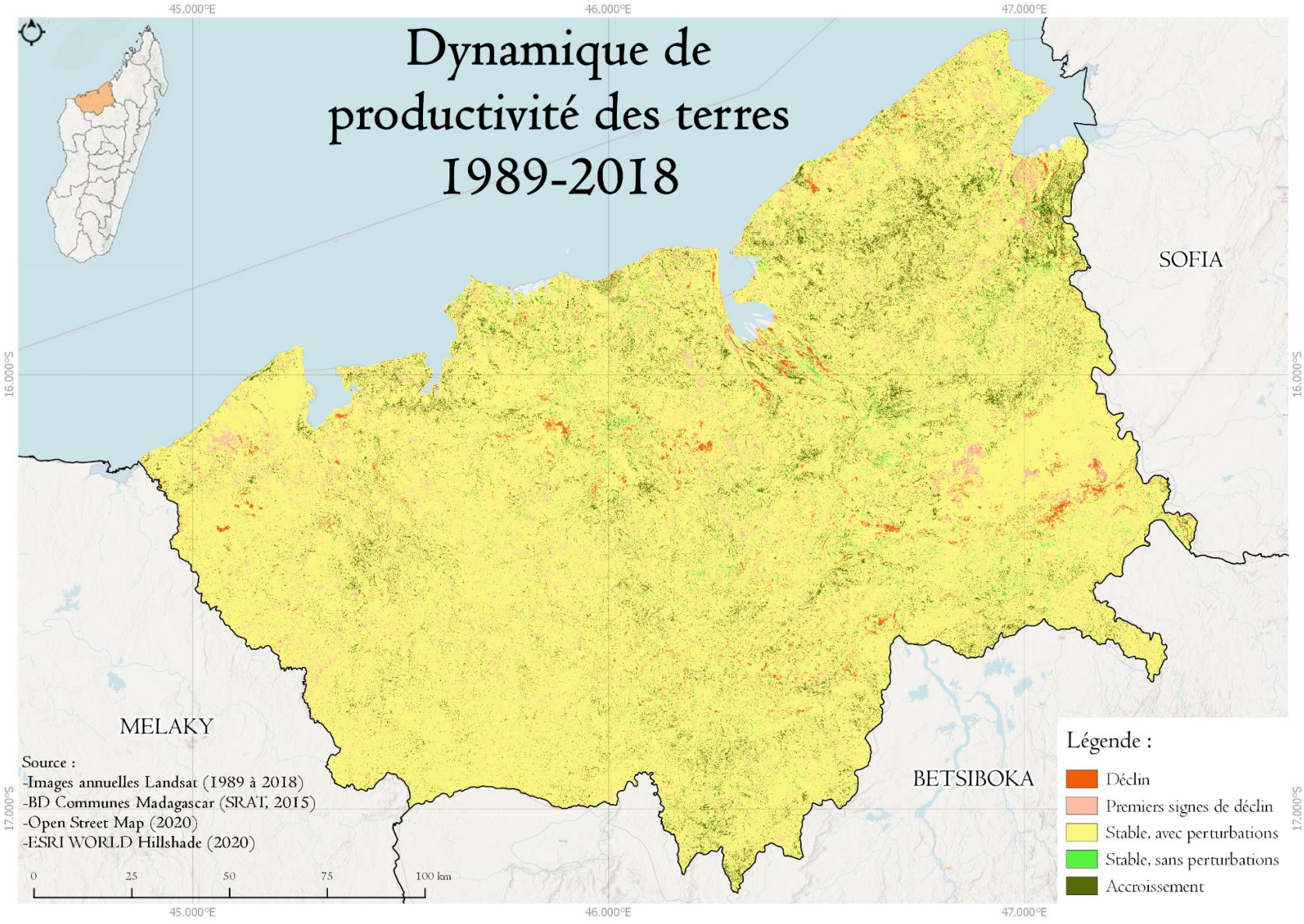


Figure 36: Carte de dynamique de productivité des terres 1989-2018

A1-3.1.2 Analyse des données d'enquêtes

Les enquêtes de terrain menées auprès des ménages de la région Boeny, permettent de décrire et comprendre les itinéraires techniques, les systèmes d'exploitation de manière générale et les pratiques agricoles, particulièrement l'utilisation du feu.

A l'issue des travaux d'enquête, les coûts et bénéfices de production à l'hectare du ménage (agriculture et élevage) sur les années 2017 et 2018 ont pu être estimés. Pour cela, 886 paramètres au total ont été analysés et les excédents bruts d'exploitation (EBE) en sont ressortis (figure 37). En règle générale, l'EBE est un indicateur évalué sur une année permettant de déterminer les revenus que chaque ménage tire régulièrement de son cycle d'exploitation (les bénéfices bruts).

EBE = Chiffres d'Affaires – Charges/Coûts

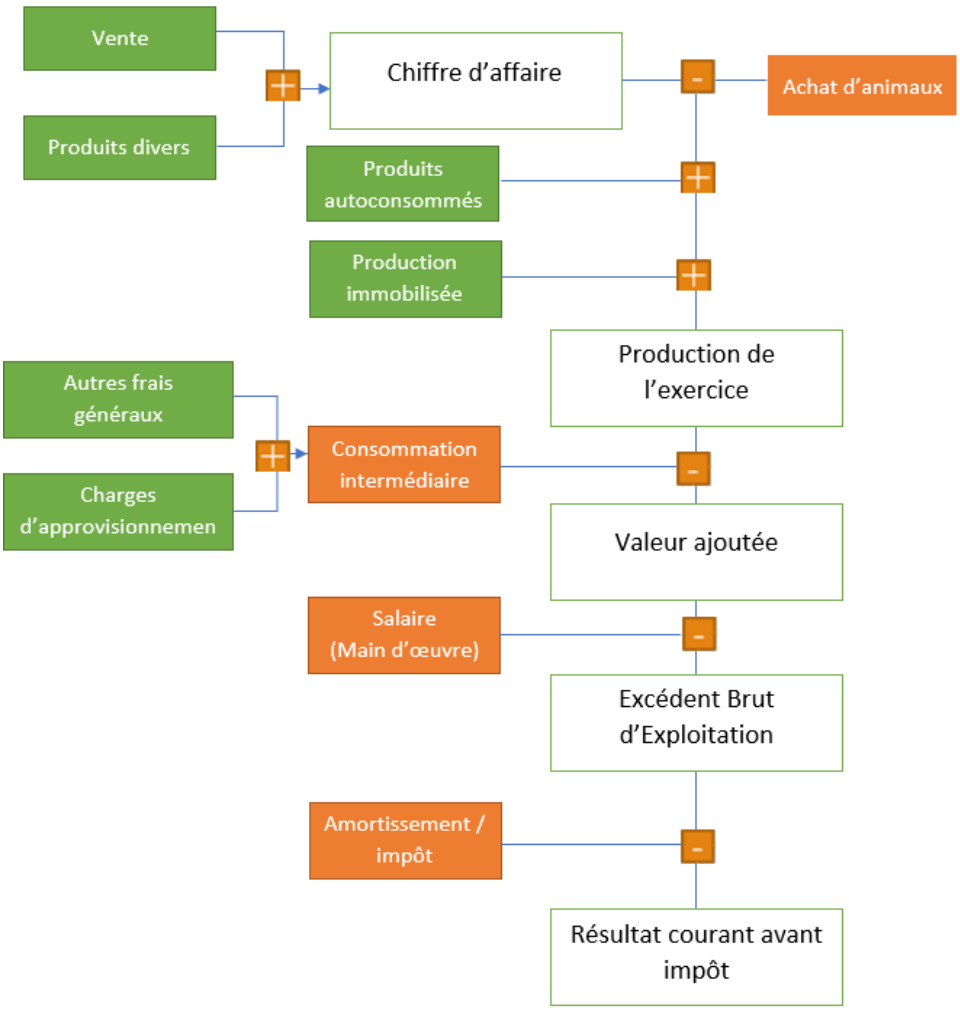


Figure 37 : Illustration de l'EBE

A1-3.2. Rôles des feux dans l'exploitation agricole

A1-3.2.1 Influence sur le système d'exploitation

L'impact du feu sur le système d'exploitation des ménages a été évalué pour les formes de sécurisation foncière et l'excédent brut d'exploitation.

La connaissance de l'EBE permet d'établir des références de l'évolution de l'exploitation. Ainsi, l'évaluation de l'EBE avec et sans gestion du feu permettra de rendre compte des pertes occasionnées par la pratique du feu.

A1-3.2.2 Influence sur le taux de COS

L'impact du feu sur le taux de COS a été obtenu via un test de corrélation de Spearman (α=0,05). En effet, ce test permet de mesurer le degré de dépendance entre deux variables quantitatives X et Y dont la fréquence des feux et les taux de carbone organique du sol pour les parcelles agricoles. Il est utilisé lorsque les données ne suivent pas la loi normale.

A1-3.3. Modélisation des scenarii de réduction des feux sur le revenu des ménages

La modélisation des scenarii de réduction des feux permet de déduire les bénéfices issus d'un contrôle des feux. Deux scenarii seront produits :

- Le premier est le scénario de « Business As Usual » (BAU) qui représente une situation où aucune mesure n'est prise contre le feu. Les tendances futures de dégradation des terres devraient se poursuivre selon des schémas similaires à ceux obtenus, c'est-à dire que l'impact du feu sur l'EBE des ménages suivra donc la même tendance que celui des résultats d'enquête.
- Le second est le scénario de l'action qui présente l'évolution de l'EBE si des mesures de contrôle des feux sont adoptées.

A1-3.3.1 Estimation du coût de l'inaction lié à la baisse de l'EBE

Le coût de l'inaction sur la dégradation des sols renvoie aux gains maximaux possibles de l'action. Dans cette partie de l'étude, le coût de l'inaction sur la baisse de l'EBE est la différence entre l'EBE des ménages dans une situation d'action et d'inaction ou de Business as Usual (BAU).

- EBE suivant le scénario de BAU

L'EBE pour les années 2025, 2030 et 2035 est obtenu par le produit des EBE moyens par fréquence de feu par leurs surfaces modélisées respectives si aucun changement de pratique n'est entrepris.

Les valeurs sont ensuite corrigées avec un taux d'actualisation de 10%[4] car il faut ramener la valeur future à sa valeur actuelle.

- $V_0=V_n/(1+i)^n$

Dont :

- V_n : valeur de l'EBE à l'année n,
- V_0: valeur actuelle,
- i : taux d'intérêts annuel et
- n : nombre d'année

- EBE suivant le scénario d'action

Pour obtenir l'évolution des EBE si le feu est réduit :

- La surface des zones brûlées (zones ayant subi 1 à 6 passages de feu durant ces dernières années) a été réduite de 2% par an soit des réductions de 12% en 2025, 22% en 2030 et 32% en 2035.
- Puis la surface enlevée a été ajoutée aux zones non brûlées.
- Ensuite, puisque l'EBE moyen en fonction des occurrences de feu a déjà été obtenu, les moyennes sont multipliées aux nouvelles surfaces (brûlées et non brûlées) calculées.

$$EBE_{total} = (EBE_0 \times Surface_0) + (EBE_{sb} \times surface_{sb})$$

$_0$: zones non brûlées

$_{sb}$: zone brûlée

Les valeurs sont également actualisées.

La différence entre l'EBE issu de l'action et celui du BAU équivaut à la perte occasionnée par la pratique du feu si aucune action n'est entreprise ou le coût de l'inaction.

[4] Ce taux a été basé sur le taux d'actualisation des institutions financières et monétaires internationales et nationales qui est de 10-15% pour l'évaluation des projets

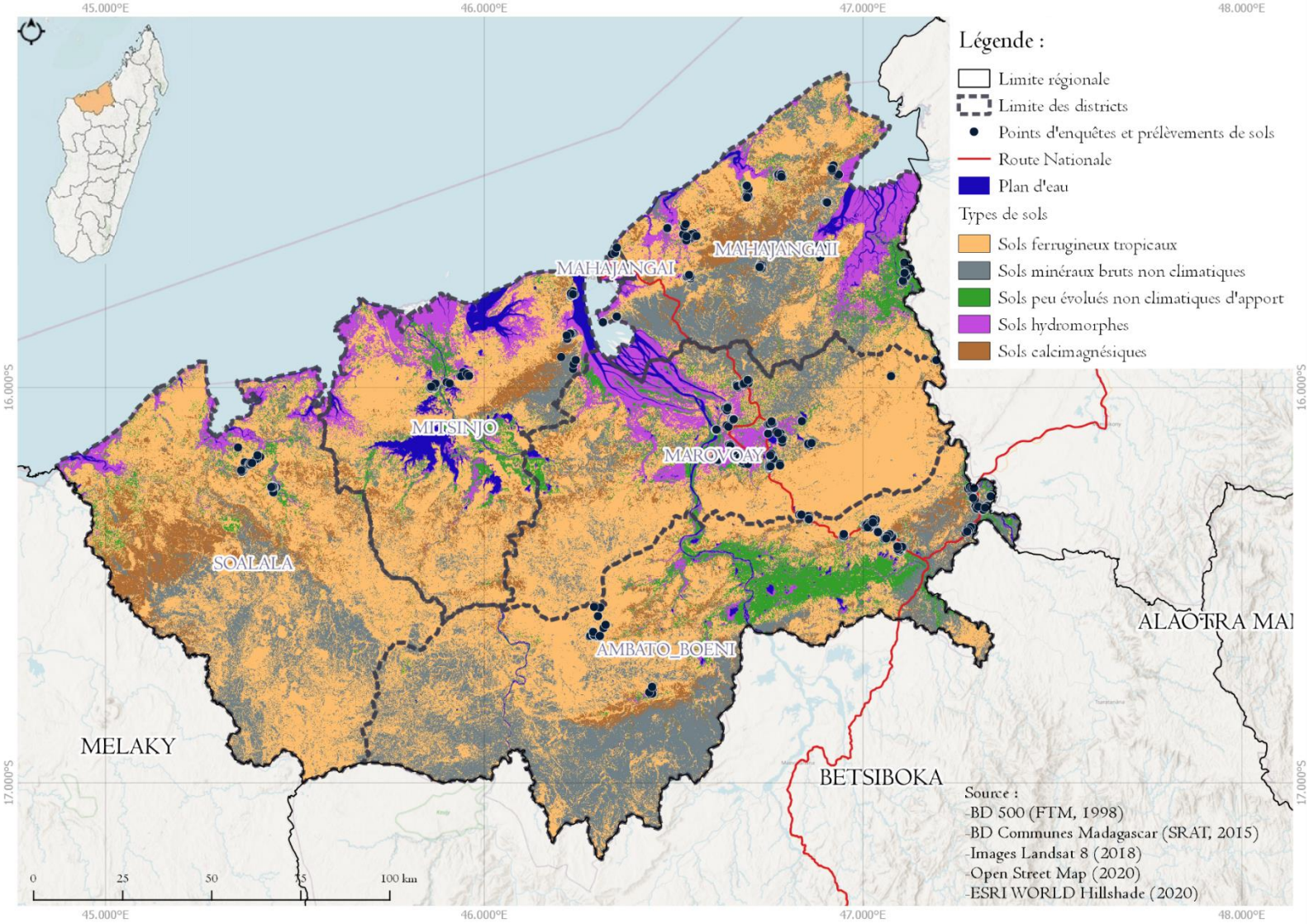
A1-3.3.2 Estimation du coût de l'action

Le coût de l'action correspond à la valeur de l'investissement nécessaire pour mettre en œuvre le scénario d'action. L'exemple de coût pris ici est celui de 308 € pour 1 ha selon le Projet de protection et réhabilitation des sols (Prosol GIZ) pour « une agriculture de conservation antiérosive » (EcoConsult et GOPA, 2018).

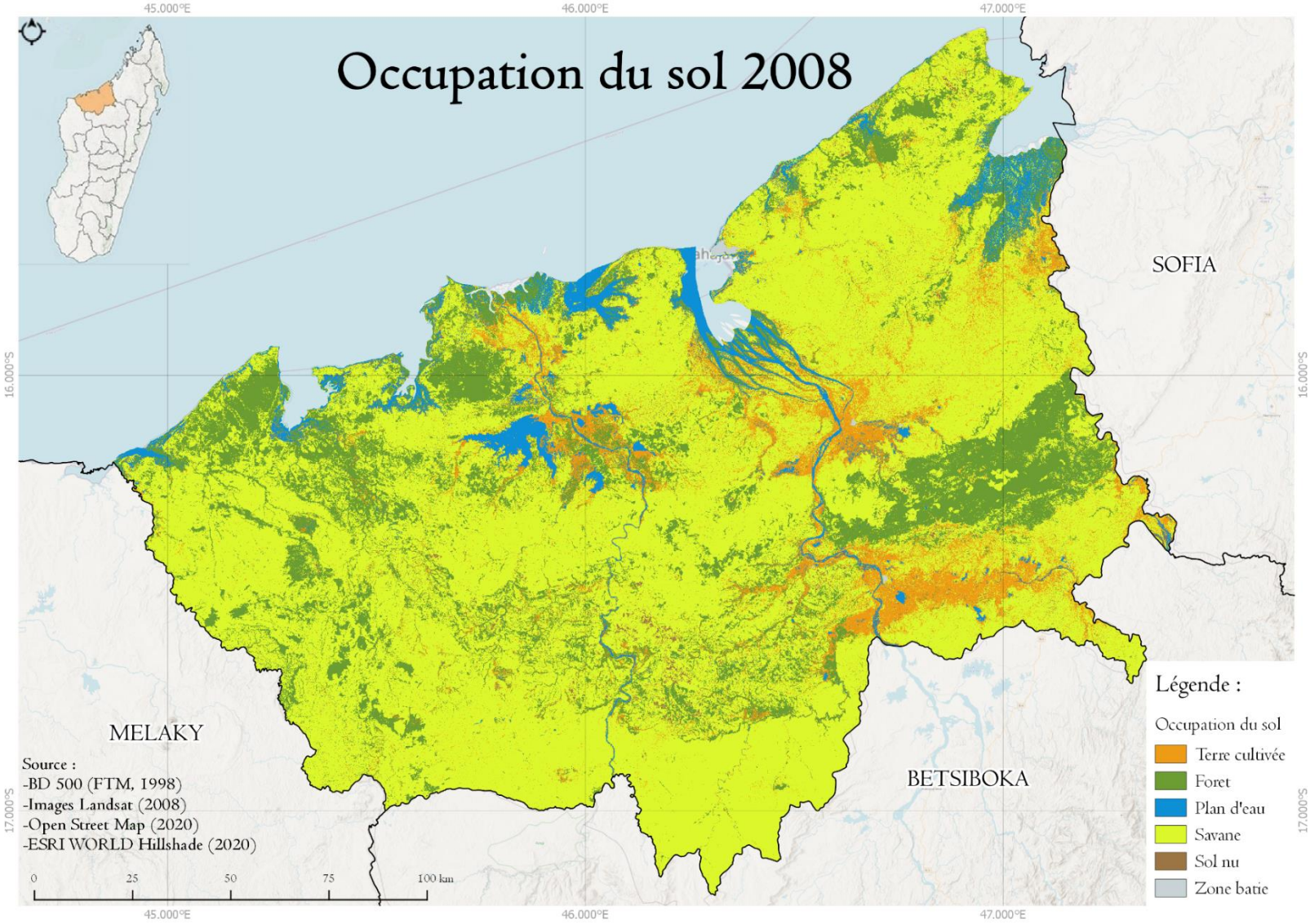
A1-3.3.3 Bénéfice de l'action et retour d'investissement

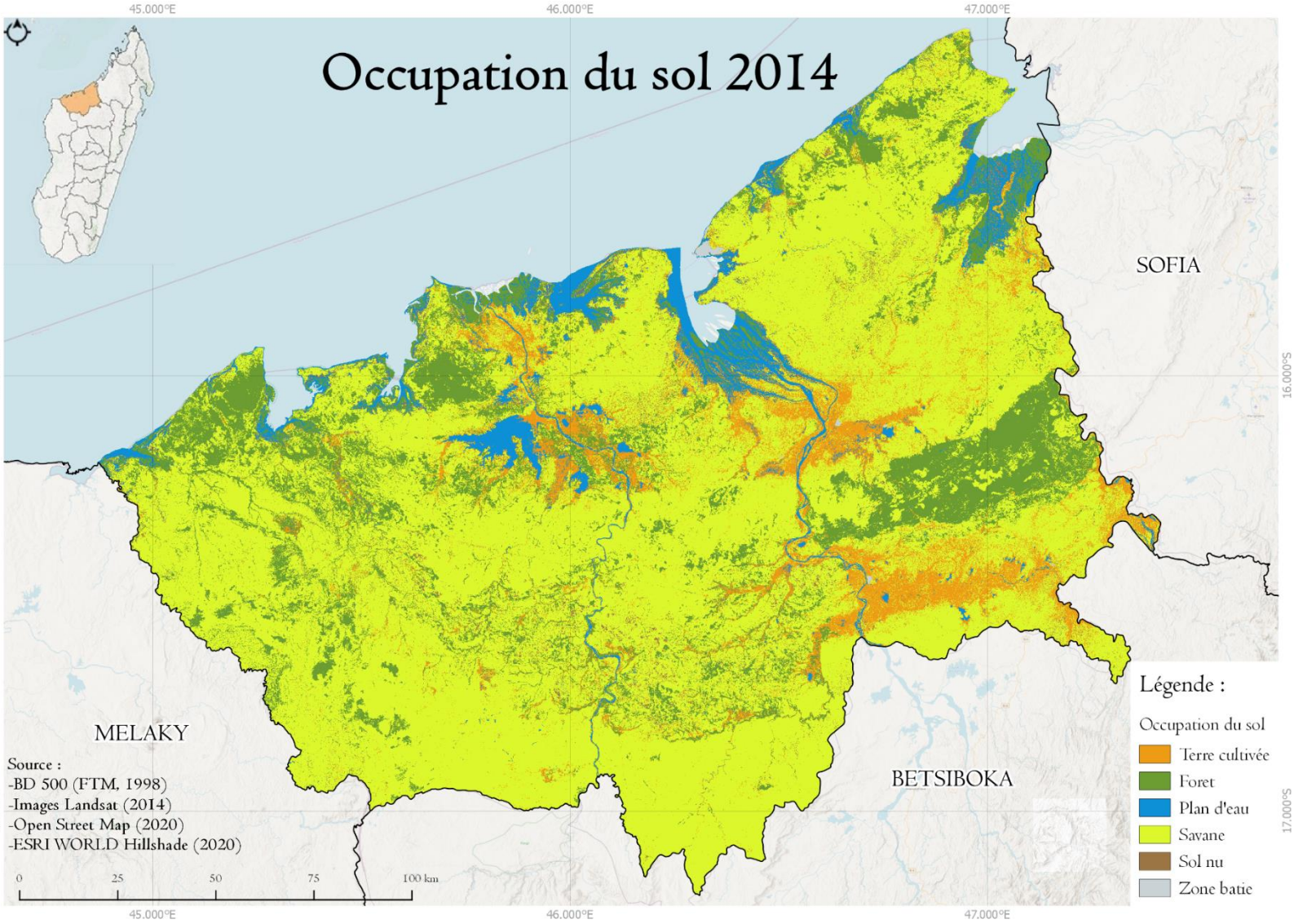
Le bénéfice de l'action est la différence entre le coût de l'inaction et le coût de l'action. Lorsque cette différence est positive, alors agir est justifié en termes économiques. Les chiffres sur les retours sur investissement sont calculés comme le coût de l'inaction sur le coût de l'action.

Annexe 2 : Carte de répartition des points d'échantillonnage



Annexe 3 : Carte d'occupation du sol 2008 et 2014




Occupation du sol 2014
45.000°E
46.000°E
47.000°E
16.000°S
17.000°S
SOFIA
MELAKY
BETSIBOKA
Source :
-BD 500 (FTM, 1998)
-Images Landsat (2014)
-Open Street Map (2020)
-ESRI WORLD Hillshade (2020)
0
25
50
75
100 km
Légende :
Occupation du sol
Terre cultivée
Foret
Plan d'eau
Savane
Sol nu
Zone batie

Annexe 4 : Différentes classes de sol selon la CPCS (1967)

1. Classe des sol minéraux bruts

Les sols minéraux bruts sont des sols dont leur altération chimique et biologique est nulle ou quasi nulle. On distingue trois types de sols dans cette classe qui font partie de la sous classe des sols minéraux bruts non climatique d'érosion. Ce sont : **les sols bruns gris sur calcaire, les sols beiges sur grès plus ou moins ruiniforme et les sables dunes**. Ces sols ont un profil de type (A) C, (A) R, ou R. Ils s'observent sur des roches ou des formations superficielles qui n'ont pas encore subi ou qui ne peuvent subir d'évolution pédologique. Ils sont surtout répartis dans les communes de Boanamary, Ambalakida, Ankirihitra et Sitampiky. La mise en valeur agricole ou forestière de ces sols est limitée par la présence d'un obstacle rédhibitoire à tout approfondissement situé à très faible profondeur (moins de 10 cm). L'agriculture y est donc peu favorable.

2. Classes des sols peu évolués

Les sols cette classe sont définis comme des sols dans lesquels l'altération physique du matériau peut être déjà grande, allant jusqu'à la fragmentation en éléments fins. La matière organique peut exister en quantités élevées. Ce sont des sols jeunes au profil de type AC. On distingue cinq types de sols appartenant aux sous classes des sols peu évolués non climatique et d'apport alluvial. Ce sont : **les alluvions limono argileuses micacées de bourrelets** dont l'argile varie entre 25% à 40%, le limon entre 25% à 60 %, l'ensemble des éléments fins, argile + limon atteint 55% à 90% ; **les alluvions limono sableuses micacées de bourrelets** dont l'argile est comprise entre 15 et 25 %, les éléments fins (limon + argile) atteignent 50 % au minimum ; **les alluvions sableuses** où l'argile n'atteint pas 15 %, les éléments fins sont inférieurs à 50 %, peu ou pas de sable grossier ; **les alluvions limono argileuses non micacées et les alluvions argilo – calcaires**. Ces types de sols sont développés dans des matériaux déposés récemment, les alluvions fluviatiles ou lacustres, mis en place par transport, puis sédimentation en milieu aqueux. Ces alluvions peuvent être relativement homogènes ou présenter une grande hétérogénéité minéralogique et granulométrique qui reflète la diversité des matériaux géologiques et pédologiques situés en amont du bassin versant. Ils se répartissent dans les positions basses dans les paysages, celles des vallées où ils constituent les lits mineur et majeur des rivières notamment le long du fleuve de Betsiboka mais aussi dans la commune d'Ambato

marimay, d'Anjijia et la partie sud-ouest de Mahajamba Usine. Différentes sortes de cultures sont pratiquées dans ces zones (fruitières, maraichères, vivrières) (Randriamboavonjy, 1996). En effet, les sols alluviaux sont généralement fertiles et facile à cultiver : ils sont plats, de texture légère, riches en limons et bien alimentés en eau.

3. Classe des sols calcimagnésiques

Les sols calcimagnésiques se forment sur des roches calcaires libérant des quantités suffisantes de calcaire actif. Le calcaire actif a quatre effets principaux sur les sols : il stimule fortement l'activité des lombrics, des bactéries et des autres composantes de la pédofaune ou de la pédoflore ; il provoque un blocage précoce de l'humification avec la formation de mull carbonaté ; le complexe argilo humique est très fortement floculé, ce qui donne aux sols une structure grumeleuse très caractéristique ; le fer est retenu dans les horizons supérieurs qui apparaissent très colorés. Un seul type de sol a été distingué dans cette classe qui fait partie des sous classes des sols carbonatés : les sols bruns calcaires. Ce type de sol est plutôt localisée sur les plateaux calcaires de la commune de Katsepy et dans la partie sud-ouest de Betsako et sud-est de Mariarano.

4. Classe des sols à sesquioxydes de fer

Sept types de sol ont été identifiés dans la sous classe des sols ferrugineux tropicaux. Ces types de sols dominent le plus la zone d'étude. Il y a seulement individualisation du fer mais non de l'alumine dans ces sols, les éléments de la roche-mère sont moins altérés, le sol moins épais et moins argileux, la structure est meilleure en général. Ces sols se forment dans les régions intertropicales ayant une saison sèche de 4 à 5 mois et une saison des pluies avec des précipitations annuelles de 400 à 1 400 mm et sur des roches plus ou moins acides (Baize et Girard, 2008). Ces critères correspondent au climat et au géologie de la région Ouest de Madagascar. Les sols ferrugineux ont des caractéristiques agronomiques très variables et souvent hétérogènes. Certains types de sols sont utilisés pour l'agriculture et d'autres pour le pâturage. Ces sols font partie des sous classes de sols ferrugineux peu lessivés et lessivés : - les sols bruns rouges sur basalte : qui se répartissent dans la partie centrale de la région d'étude notamment dans la partie nord d'Ankazomborona, dans la commune d'Antanimasaka, d'Ankaraobato, d'Ambarimaninga, dans la partie sud de la commune de Bekibay et Antseza.

- Les sols rouges sur grès : se trouvent en petite quantité dans la partie centrale de la région
- Les sols rouges sur carapace sableuse : se situe surtout dans la commune de Mariarano
- Les sols rouges de décalcification sur calcaire : sont surtout dans les parties sud des communes d'Ambato marimay et d'Anjijia.
- Les sols gris sableux sur rouge : se trouvent surtout dans la forêt d'Ankarafantsika mais aussi dans la commune d'Andranomavo, d'Ankaraobato et le nord-ouest de Sitampiky
- Les sols bruns jaunes sur alluvions anciennes : se situent aux bordures des formations littorales de la communes d'Antogomena bevary, de Katsepy et de Belobaka.
- Les sols rouge de décalcification calcaire : se situe dans le sud des communes de Ambatomarimay et Anjijia.
- Les sols brunâtres sur glacis sableux : se répartissent sous le forêt de Tsiombiko dans la commune de Matsakabanja mais aussi dans la partie nors ouest d'Ambohipaky et nord-est de soalala

5. Classe des sols hydromorphes

Ce sont des sols dont les caractères sont dus à une évolution dominée par l'effet d'un excès d'eau en raison d'un engorgement temporaire ou permanent d'une partie ou de la totalité du profil. Ces sols se retrouvent dans les zones humides au niveau des bas-fonds. On distingue cinq types de sols dans cette classe. Les trois premières font parties de la sous classe de sols hydromorphe moyennement organiques. Ce sont les sols sous mangrove et les sols semi-tourbeux à inondation totale permanente. Les sols sous mangroves se trouvent dans tous les mangroves (formations littorales) de la partie nord de la région d'étude surtout dans les communes de Matsakabanja, Antogomena bevary, Andranoboka, Mahajamba Usine et dans l'estuaire de Betsiboka. Les sols semi-tourbeux à inondation totale permanente se trouvent surtout dans la commune de Marovoay. Ensuite les deux autres types de sol appartiennent à la sous classe des sols hydromorphes peu humifères. Ce sont les sols à inondation totale temporaire à gley et les sols à inondation partielle temporaire à pseudogley qui se répartissent surtout dans la partie centrale du district de Marovoay. Les rendements sont assez importants

sur ces types de sol. Les sols hydromorphes peu humifères bordant les grands axes hydrographiques, l'aval des modelés très disséqués conviennent surtout aux rizières et aux cultures de contre-saison. Par contre, les sols hydromorphes moyennement organiques des collines ou croupes tapissés d'une couverture pédologique compacte et résistante à l'érosion sont destinés à la riziculture occupant les bas-fonds (Randriamboavonjy, 1996).

Annexe 5 : Résultats des tests statistiques sur l'analyse stock de COS

1. Variation du stock de COS en fonction des occupations du sol

Summary statistics:

Variable	Obs	Obs. with missing data	Obs. without missing data	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
COS | Forêt	20	0	20	86,87	230,81	159,40	36,30
COS | Savane	147	0	147	15,03	165,39	59,35	35,15
COS | Sol nu	45	0	45	11,19	120,77	39,21	26,22
COS | Agriculture	581	0	581	11,21	251,45	75,45	40,01

Kruskal-Wallis test (COS):

K (Observed value)	108,5694
K (Critical value)	7,8147
DF	3
p-value (Two-tailed)	< 0,0001
alpha	0,05

An approximation has been used to compute the p-value.

Test interpretation:

H0: The samples come from the same population.

Ha: The samples do not come from the same population.

As the computed p-value is lower than the significance level alpha=0,05, one should reject the null hypothesis H0, and accept the alternative hypothesis Ha.

The risk to reject the null hypothesis H0 while it is true is lower than 0,01%.

Multiple pairwise comparisons using Dunn's procedure / Two-tailed test:

Sample	Frequency	Sum of ranks	Mean of ranks	Groups			
COS | Sol nu	45	8105,0	180,11	A			
COS | Savane	147	46912,5	319,13		B		
COS | Agriculture	581	245033,0	421,74			C	
COS | Forêt	20	14770,5	738,53				D

Table of pairwise differences:

	COS | Forêt	COS | Savane	COS | Sol nu	COS | Agriculture
COS | Forêt	0	419,39	558,41	316,78
COS | Savane	-419,39	0	139,02	-102,61
COS | Sol nu	-558,41	-139,02	0	-241,63
COS | Agriculture	-316,78	102,61	241,63	0

p-values:

	COS | Forêt	COS | Savane	COS | Sol nu	COS | Agriculture
COS | Forêt	1	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**
COS | Savane	**< 0,0001**	1	**0,0004**	**< 0,0001**
COS | Sol nu	**< 0,0001**	**0,0004**	1	**< 0,0001**
COS | Agriculture	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0083

Significant differences:

	COS | Forêt	COS | Savane	COS | Sol nu	COS | Agriculture
COS | Forêt	No	**Yes**	**Yes**	**Yes**
COS | Savane	**Yes**	No	**Yes**	**Yes**
COS | Sol nu	**Yes**	**Yes**	No	**Yes**
COS | Agriculture	**Yes**	**Yes**	**Yes**	No

2. Variation du stock de COS en fonction du type de sol

Summary statistics:

Variable	Obs.	Obs. with missing data	Obs. without missing data	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
Taux de C | Sol ferrugineux	548	0	548	11,21	251,45	64,78	38,16
Taux de C | Sol hydromorphe	180	0	180	12,82	223,46	95,78	41,38
Taux de C | Sol peu évolué	48	0	48	37,75	202,07	98,98	38,08
Taux de C | Sol minéraux brut	18	0	18	22,70	80,67	52,55	15,23

Kruskal-Wallis test (Taux de C):

K (Observed value)	119,8667
K (Critical value)	7,8147
DF	3
p-value (Two-tailed)	< 0,0001
alpha	0,05

An approximation has been used to compute the p-value.

Test interpretation:

H0: The samples come from the same population.

Ha: The samples do not come from the same population.

As the computed p-value is lower than the significance level alpha=0,05, one should reject the null hypothesis H0, and accept the alternative hypothesis Ha. The risk to reject the null hypothesis H0 while it is true is lower than 0,01%.

Multiple pairwise comparisons using Dunn's procedure / Two-tailed test:

Sample	Frequency	Sum of ranks	Mean of ranks	Groups
				XL

Taux de C | Sol minéraux brut	18	5193	288,50	A	
Taux de C | Sol ferrugineux	548	187947	342,97	A	
Taux de C | Sol hydromorphe	180	95961	533,12		B
Taux de C | Sol peu évolué	48	26514	552,38		B

Table of pairwise differences:

	Taux de C | Sol ferrugineux	Taux de C | Sol hydromorphe	Taux de C | Sol peu évolué	Taux de C | Sol minéraux brut
Taux de C | Sol ferrugineux	0	-190,15	-209,41	54,47
Taux de C | Sol hydromorphe	190,15	0	-19,26	244,62
Taux de C | Sol peu évolué	209,41	19,26	0	263,88
Taux de C | Sol minéraux brut	-54,47	-244,62	-263,88	0

p-values:

	Taux de C | Sol ferrugineux	Taux de C | Sol hydromorphe	Taux de C | Sol peu évolué	Taux de C | Sol minéraux brut
Taux de C | Sol ferrugineux	1	**< 0,0001**	**< 0,0001**	0,3215
Taux de C | Sol hydromorphe	**< 0,0001**	1	0,6052	**< 0,0001**
Taux de C | Sol peu évolué	**< 0,0001**	0,6052	1	**< 0,0001**
Taux de C | Sol minéraux brut	0,3215	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0083

Significant differences:

	Taux de C | Sol ferrugineux	Taux de C | Sol hydromorphe	Taux de C | Sol peu évolué	Taux de C | Sol minéraux brut
Taux de C | Sol ferrugineux	No	**Yes**	**Yes**	No
Taux de C | Sol hydromorphe	**Yes**	No	No	**Yes**
Taux de C | Sol peu évolué	**Yes**	No	No	**Yes**
Taux de C | Sol minéraux brut	No	**Yes**	**Yes**	No

3. Variation du stock de COS en fonction de la toposéquence

Summary statistics:

Variable	Observations	Obs. with missing data	Obs. without missing data	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
Taux de C | Mi-versant	148	0	148	21,68	147,47	65,89	27,16
Taux de C | Bas versant	203	0	203	16,02	251,45	68,72	36,37
Taux de C | Bas fond	203	0	203	12,82	223,46	96,51	41,83
Taux de C | Sommet	28	0	28	11,73	116,36	53,61	25,75

Kruskal-Wallis test (Taux de C):

K (Observed value)	88,7791
K (Critical value)	7,8147
DF	3
p-value (Two-tailed)	< 0,0001
alpha	0,05

An approximation has been used to compute the p-value.

Test interpretation:

H0: The samples come from the same population.

Ha: The samples do not come from the same population.

As the computed p-value is lower than the significance level alpha=0,05, one should reject the null hypothesis H0, and accept the alternative hypothesis Ha.

The risk to reject the null hypothesis H0 while it is true is lower than 0,01%.

Multiple pairwise comparisons using Dunn's procedure / Two-tailed test:

Sample	Frequency	Sum of ranks	Mean of ranks	Groups
Taux de C | Sommet	28	5211	186,11	A
Taux de C | Bas versant	203	50542	248,98	A
Taux de C | Mi-versant	148	36886	249,23	A
Taux de C | Bas fond	203	77014	379,38	B

Table of pairwise differences:

	Taux de C|Mi-versant	Taux de C|Bas versant	Taux de C|Bas fond	Taux de C|Sommet
Taux de C | Mi-versant	0	0,25	-130,15	63,12
Taux de C | Bas versant	-0,25	0	-130,40	62,87
Taux de C | Bas fond	130,15	130,40	0	193,27
Taux de C | Sommet	-63,12	-62,87	-193,27	0

p-values:

	Taux de C|Mi-versant	Taux de C|Bas versant	Taux de C|Bas fond	Taux de C|Sommet
Taux de C | Mi-versant	1	0,9888	**< 0,0001**	0,0685
Taux de C | Bas versant	0,9888	1	**< 0,0001**	0,0637
Taux de C | Bas fond	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1	**< 0,0001**
Taux de C | Sommet	0,0685	0,0637	**< 0,0001**	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0083

Significant differences:

	Taux de C|Mi-versant	Taux de C|Bas versant	Taux de C|Bas fond	Taux de C|Sommet
Taux de C | Mi-versant	No	No	**Yes**	No
Taux de C | Bas versant	No	No	**Yes**	No
Taux de C | Bas fond	**Yes**	**Yes**	No	**Yes**
Taux de C | Sommet	No	No	**Yes**	No

4. Impact du feu sur le stock de COS

- *Test de corrélation entre le taux de COS des parcelles agricoles et la fréquence des feux*

Summary statistics:

Variable	Obs	Obs. with missing data	Obs. without missing data	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
Taux de COS Agri	581	0	581	11,21	251,45	75,45	40,01
Fréquences des feux	581	0	581	0,00	6,00	3,36	1,84

Correlation matrix (Spearman):

Variables	Taux de COS	Fréquences des feux
Taux de COS Agri	**1**	**-0,7349**
Fréquences des feux	**-0,7349**	**1**

Values in bold are different from 0 with a significance level alpha=0,05

p-values:

Variables	Taux de COS	Fréquences des feux
Taux de COS Agri	**0**	**0,0000**
Fréquences des feux	**0,0001**	**0**

Values in bold are different from 0 with a significance level alpha=0,05

Coefficients of determination (Spearman):

Variables	Taux de COS	Fréquences des feux
Taux de COS Agri	**1**	0,54
Fréquences des feux	0,54	**1**

- *Test de corrélation entre le taux de COS des savanes et la fréquence des feux*

Summary statistics:

Variable	Observations	Obs. with missing data	Obs. without missing data	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
Fréquence de feu	167	0	167	0,00	3,00	0,19	0,56
COS	167	0	167	15,03	230,81	71,33	47,95

Correlation matrix (Spearman):

Variables	Fréquence de feu	COS
Fréquence de feu	**1**	0,0532

COS	0,0532	**1**

Values in bold are different from 0 with a significance level alpha=0,05

p-values:

Variables	Fréquence de feu	COS
Fréquence de feu	**0**	0,4943
COS	0,4943	**0**

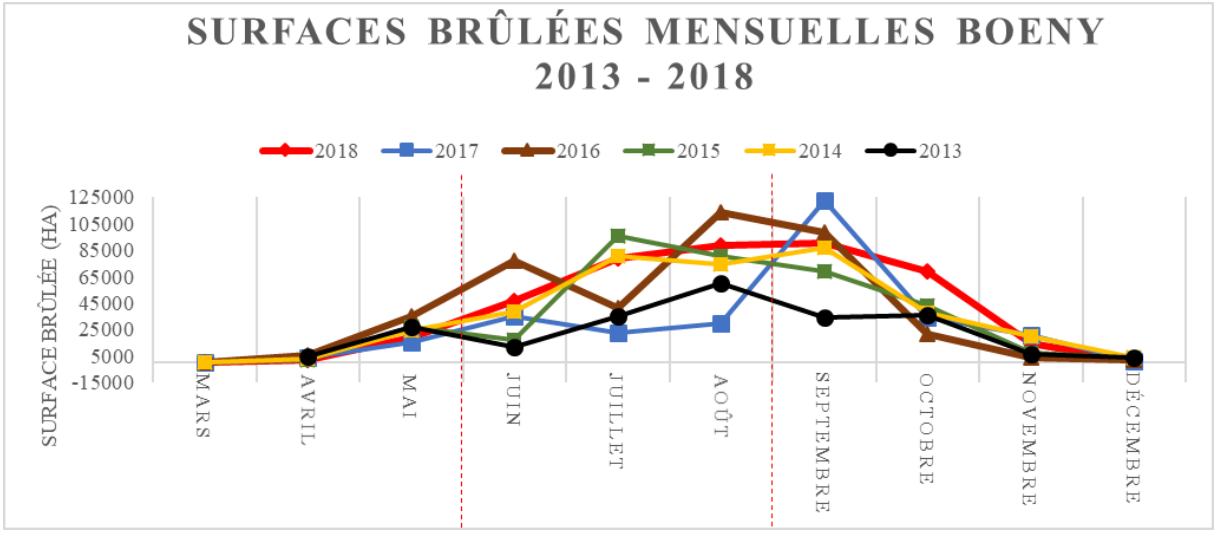
Values in bold are different from 0 with a significance level alpha=0,05

Coefficients of determination (Spearman):

Variables	Fréquence de feu	COS
Fréquence de feu	**1**	0,0028
COS	0,0028	**1**

Annexe 6 : Surface brûlée par type de feu intra-annuel

Mois	Année					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mars		207,1	504,0	621,9	8,4	648,0
Avril	4344,1	2896,4	1618,3	5537,0	3569,6	2166,3
Mai	26626	24767,0	26719,2	35018,7	15751,9	18893,1
Juin	12004,9	38443,4	17291,5	76736,4	35434,8	46222,3
Juillet	34970,2	80580,3	95849,7	40852,0	22777,0	79194,5
Août	59796,2	74308,1	80549,9	114049,0	29913,3	88327,0
Septembre	33762,0	87145,9	69105,8	98274,7	122096,9	90441,7
Octobre	35503,3	37817,8	43015,7	21241,3	33896,0	69137,9
Novembre	6185	19548,9	6971,0	3764,9	21115,8	14216,9
Décembre	3781,8	3665,1	3703,6	2253,6	802,3	827,0
Total	**216973,7**	**369380,4**	**345329,1**	**398350,1**	**285366,4**	**410075,1**
Feux précoces	**30970,1**	**27870,6**	**28841,6**	**41177,7**	**19330,1**	**21707,5**
Feux de printanisation	**106771,4**	**193331,8**	**193691,1**	**231637,5**	**88125,1**	**213743,9**
Feux tardifs	**75450,4**	**144512,7**	**119092,6**	**123281,1**	**177108,8**	**173796,6**



Annexe 7 : Matériels utilisés pour l'analyse en laboratoire

MATERIELS UTILISES EN LABORATOIRE

Matériels pour la mesure de la Densité Apparente

Photo 1: Etuve

Photo 2: Etuve et boites métalliques remplis de sol pour le sechage

Photo 3: Boites métalliques séchées

Photo 4: Balance numérique et poids de calibration 300g

Matériels pour la mesure de la Perte au Feu ou Loss On Ignition (LOI)

Photo 5: Pilon et mortier

Photo 6: Tamis de 2mm

Photo 7: Whirl pack bag et échantillon tamisé

Photo 8: Creuset à sécher

Photo 9: Balance à précision 0,0001g et creuset avec 4g d'échantillon

Photo 10: Creuset avec échantillon sur un plateau

Photo 11: Four à moufle ouvert

Photo 12: Four à moufle à 400°C

Photo 13: Matériel de protection

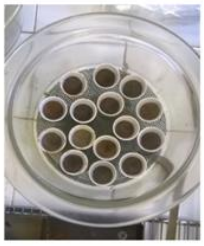


Photo 14: Dessiccateur et creuset rempli

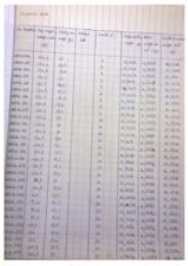


Photo 15: outil de prise de note

Annexe 8 : Arrêté d'habilitation du Parcours Terre, Paysage et Développement

BE n° 084 - MESUPRES

REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Fitiavana – Tanindrazana – Fandrosoana
****

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ARRÊTÉ N° 29232 /2018-MESupRES
portant habilitation de l'offre de formation dispensée à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques de l'Université d'Antananarivo.

LE MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE,

Vu la Constitution ;

Vu la Loi n°2004-004 du 26 juillet 2004 modifiée par la loi n°2008-011 du 17 juillet 2008 portant orientation générale du système d'Education, d'Enseignement et de Formation à Madagascar ;

Vu l'Ordonnance n°92-030 du 17 juillet 1992 portant création des Universités ;

Vu le décret n° 2018-529 du 4 juin 2018 portant nomination du Premier Ministre, Chef du Gouvernement ;

Vu le décret n°2018-540 du 11 juin 2018 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret n°2014-634 du 03 juin 2014 modifié et complété par le décret n°2018-687 du 10 juillet 2018 fixant les attributions du Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique ainsi que l'organisation générale de son Ministère ;

Vu le décret n°2002-565 du 04 juillet 2002, modifié par les décrets n°2010-129 du 11 mars 2010, n°2012-688 du 10 juillet 2012, et n°2015-1510 du 09 novembre 2015 fixant l'organisation et le fonctionnement des Universités et des Etablissements d'Enseignement Supérieur ;

Vu le décret n°2008-179 du 15 février 2008 modifié par le décret n°2012-831 du 18 septembre 2012 portant réforme du système de l'Enseignement Supérieur et de Recherche en vue de la mise en place du système « Licence, Master, Doctorat » (LMD) ;

Après avis de la Commission Nationale d'Habilitation ;

ARRÊTE :

Article Premier.- L'offre de formation dispensée à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques de l'Université d'Antananarivo, selon le domaine et la mention indiqués dans le tableau ci-dessous, reçoit l'habilitation du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Etablissement	Domaine / Mention	Diplôme délivré / Durée de la formation
Université d'Antananarivo Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques Tél. (261)24 742 49 / 0330885235 email : essa-forets@essa-forets.org	**Domaine** : Sciences de l'Ingénieur **Mention** : - Foresterie et Environnement **Parcours** : - Terres, Paysage et Développement (LLandDev)	**Master** : Dix (10) semestres après le Baccalauréat ou quatre (04) semestres après la Licence

Article 2. Le présent arrêté sera enregistré, publié et communiqué partout où besoin sera.

Antananarivo, le 26 NOV. 2018

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

RASOAZANANERA Marie Monique

Annexe 9 : Syllabus du Parcours Terre, Paysage et Développement

UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPÉRIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
MENTION FORESTERIE ET ENVIRONNEMENT
BP 175 ESSA Forêts Antananarivo 101 Madagascar
Email: essa-forets@essa-forets.org
Tél : (261)24.742.49 – (261)33.08.852.35

« L'excellence au service du développement »

MENTION FORESTERIE ET ENVIRONNEMENT

SYLLABUS

Parcours Terres Paysage et Développement

Domaines : Sciences de l'Ingénieur : Sciences Agronomiques et Environnementales
Mention : Foresterie et Environnement
Parcours : *Terres, Paysage et Développement (LLandDev)*

Table des matières

1. PRESENTATION1
2. CONTENUS DE LA FORMATION 3
3. DESCRIPTION DES UNITES D'ENSEIGNEMENT (UE) ET DE SES ELEMENTS CONSTITUTIFS (EC) 4
   - *3.1. OUTILS DE RECHERCHES ET COMPETENCES TRANSVERSALES (ORCT)* ... 4
   - *3.1.1. Objectifs* ... 4
   - *3.1.2. Prérequis* ... 4
   - *3.1.3. Eléments constitutifs* ... 4
   - *3.1.4. Sujets traités (Annexes 1 et 2)* ... 4
   - *3.2. BASES SCIENTIFIQUES POUR L'ANALYSE DE LA DEGRADATION DES TERRES (BSc-DT)* ... 5
   - *3.2.1. Objectifs* ... 5
   - *3.2.2. Prérequis* ... 5
   - *3.2.3. Eléments constitutifs* ... 5
   - *3.2.4. Sujets traités (Annexes 3 à 7)* ... 6
   - *3.3. ECONOMIE ET POLITIQUE APPLIQUEE A LA GESTION DURABLE DES TERRES (EP-GDT)* ... 7
   - *3.3.1. Objectifs* ... 7
   - *3.3.2. Prérequis* ... 7
   - *3.3.3. Éléments constitutifs* ... 7
   - *3.3.4. Sujets traités (Annexes 8 à 10)* ... 8
   - *3.4. LUTTE CONTRE LA DEGRADATION ET LA GESTION DURABLE DES TERRES (LCD-GDT)* ... 8
   - *3.4.1. Objectifs* ... 8
   - *3.4.2. Prérequis* ... 8
   - *3.4.3. Éléments constitutifs* ... 9
   - *3.4.4. Sujets traités (Annexes 11 à 13)* ... 9
   - *3.5. TRAVAUX PRATIQUES ET VOYAGE D'ETUDE (TP-VE)* ... 10
   - *3.5.1. Objectifs* ... 10
   - *3.5.2. Prerequis* ... ***Erreur ! Signet non défini.***
   - *3.5.3. Éléments constitutifs* ... 10
4. ANNEXE : PLAN DES COURS I

Liste des Annexes

Annexe 1 : Technique de Planification LLandDev/ORCT 001 (Delphin Randriamiarisoa)..... I
Annexe 2 : Production scientifique et méthode d'analyse LLandDev/ORCT 002 (Mihajamanana Rabenilalana).. II
Annexe 3 : Climatologie et hydrologie appliquées LLandDev/BSc-DT 003 (Zo Rabefitia)..... III
Annexe 4 : Biens et Services écosystémiques LLandDev/BSc-DT 004 (Mihajamanana Rabenilalana)..... V
Annexe 5 : Ecologie appliquée aux RN, aux paysages LLandDev/BSc-DT 005 (Samuel Razanaka, Mihajamanana Rabenilalana)..... VII
Annexe 6 : Agroforesterie et Pâturage (sylvopastorale) LLandDev/BSc-DT 006 (Seheno Randrianarivelo, Samuel Razanaka))..... IX
Annexe 7 : Pédologie, Terres, Dégradation des Terres et sécheresse LLandDev/BSc-DT007 (Jean Chrysostome Randriamboavonjy)..... XI
Annexe 8 : Politique publique des ressources naturelles LLandDev/EP-GDT 008 (Bruno Ramamonjisoa)..... XII
Annexe 9 : Evaluation économique des biens et services ecosystémiques LLandDev/EP-GDT 009 (Zo Rabemananjara, Harifidy Rakoto Ratsimba, Sarah Hernandez)..... XIV
Annexe 10 : Microéconomie et macroéconomie en milieu rural LLandDev/EP-GDT 010 (Oliarijao Ratefiarivelo)..... XVI
Annexe 11 : Économie de la dégradation et de la gestion durable des terres LLandDev/LCD-GDT 011 (Zo Rabemananjara, Sarah Hernandez)..... XVII
Annexe 12 : Modélisation des RN et suivi des processus de dégradation LLandDev/LCD-GDT 012 (Harifidy Rakoto RAtsimba, Samuel Razanaka, Jan Bogaert)..... XIX
Annexe 13 : Gestion et aménagement des paysages LLandDev/LCD-GDT 013 (Harifidy Rakoto Ratsimba, Jan Bogaert)..... XX

Domaines : Sciences de l'Ingénieur : Sciences Agronomiques et Environnementales
Mention : Foresterie et Développement
Parcours : ***Terres, Paysage et Développement (LLandDev)***

1. Présentation

Au vu des offres de formation proposés par les 6 mentions au sein du domaine Sciences de l'Ingénieur, Sciences Agronomiques et Environnementales anciennement appelé Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, il est remarqué que les parcours sont très spécialisés et ne traitent en profondeur les problématiques liées à la dégradation des Terres. Alors qu'il est clair que la dégradation des terres est une préoccupation écologique dont les conséquences sont ressenties le plus fortement par les populations pauvres des pays en voie de développement. La déforestation, les facteurs démographiques, le surpâturage, et les pratiques agricoles défectueuses aggravent la situation car la terre appartient aux générations passées et futures. La terre est non seulement un bien utile et commercialisable mais aussi une ressources naturelle précieuse qui doit être conservée et protégée pour le bien commun de tout.

Le parcours proposé se veut être multidisciplinaire et transversale tout en embrassant les problématiques liées à la gestion de l'environnement, des ressources naturelles et la préservation des services écosystémiques (Terre, eau, biodiversité, etc.).

MENTION : FORESTERIE ET ENVIRONNEMENT

PARCOURS : TERRES, PAYSAGES ET DEVELOPPEMENT OU LAND, LANDSCAPE AND DEVELOPMENT (LLANDDEV)

La formation proposée s'insère dans le domaine de l'Environnement, plus particulièrement de l'Economie de l'environnement appliquée à la Gestion d'utilisation des Terres et des Ressources Naturelles (biens et services) depuis leurs utilisations peu dénaturées (espaces agricoles, pâturages, espaces ouverts, espaces urbaines, formation des paysages, etc.), leurs modifications et leurs dégradations dans le temps et dans l'espace (changements, conversions des paysages), les impacts sociaux et économiques jusqu'à la restauration de ces ressources et la préservation des biens et services écosystémiques.

Objectifs

Le parcours forme les étudiants pour devenir des experts de haut niveau, spécialistes de Gestion des Terres capables de réaliser des diagnostics (analyse de la situation dans le passé et dans l'actuel), d'innover et d'effectuer des recherches sur les questions liées aux problématiques actuelles de la dégradation des terres.

Justifications

Au regard de ces problématiques qui peuvent relever des diverses utilisations de la ressource Terre et sa restauration, mais aussi des relations entre la réserve en sols, le développement agricole et l'architecture du paysage (l'aménagement en tenant compte des trois aspects du développement durable), les biens et services écosystémiques, le parcours propose une formation intégrée sur les environnements dégradés (qu'est la Terre) en associant divers domaines de l'expertise environnementale depuis l'analyse des paramètres physiques, en passant par la prise en compte des composantes du développement durable (social et économique) jusqu'à l'approche architecturale et territoriale du devenir des différentes espaces utilisées. En outre, le cursus intègre aussi l'évaluation économique du capital naturel afin de développer les capacités nécessaires sur les orientations politiques en matière de lutte contre la dégradation des ressources naturelles et de promotion de leur gestion durable. Cela implique

également la compréhension des différents processus et stratégies d'élaboration de politiques, de durabilité afin de refléter les besoins des différentes communautés.

Contenus de la formation

La formation associe :

- Un contenu théorique et réflexif sur l'environnement (écologie fonctionnelle, biens et services écosystémiques, paysage et restauration)
- Une connaissance de la dynamique quaternaire et contemporaine des milieux continentaux (processus, Évolutions / changements, crises, altérations, modes d'exploitation, méthodes de mesure et d'analyse)
- Une formation sur l'évaluation économique du capital naturel et économétrie (économie écologique, économie de l'environnement)
- Une formation à la gestion et réhabilitation des environnements actuels (cadre réglementaire, politiques, Aménagement, prospective, diagnostic, gestion des ressources physiques et immatérielles)
- La maîtrise des outils d'étude, de représentation et de gestion de l'espace mais aussi l'acquisition d'informations environnementales, leur traitement et leurs limites (métrologie, SIG, télédétection, terrain, bases de données documentaires, archives, outils de modélisation...).

Publics visés

Le parcours cible les étudiants M1 en Foresterie et Environnement ou ayant un diplôme équivalent attirés par les métiers de la gestion et l'utilisation des Terres ainsi que ses impacts au développement.

Également, les professionnels qui sont intéressés par les domaines suivants :

- La lutte contre la dégradation des terres,
- Les biens et services écosystémiques
- L'évaluation économique du capital naturel et services écosystémiques et
- La gestion du paysage

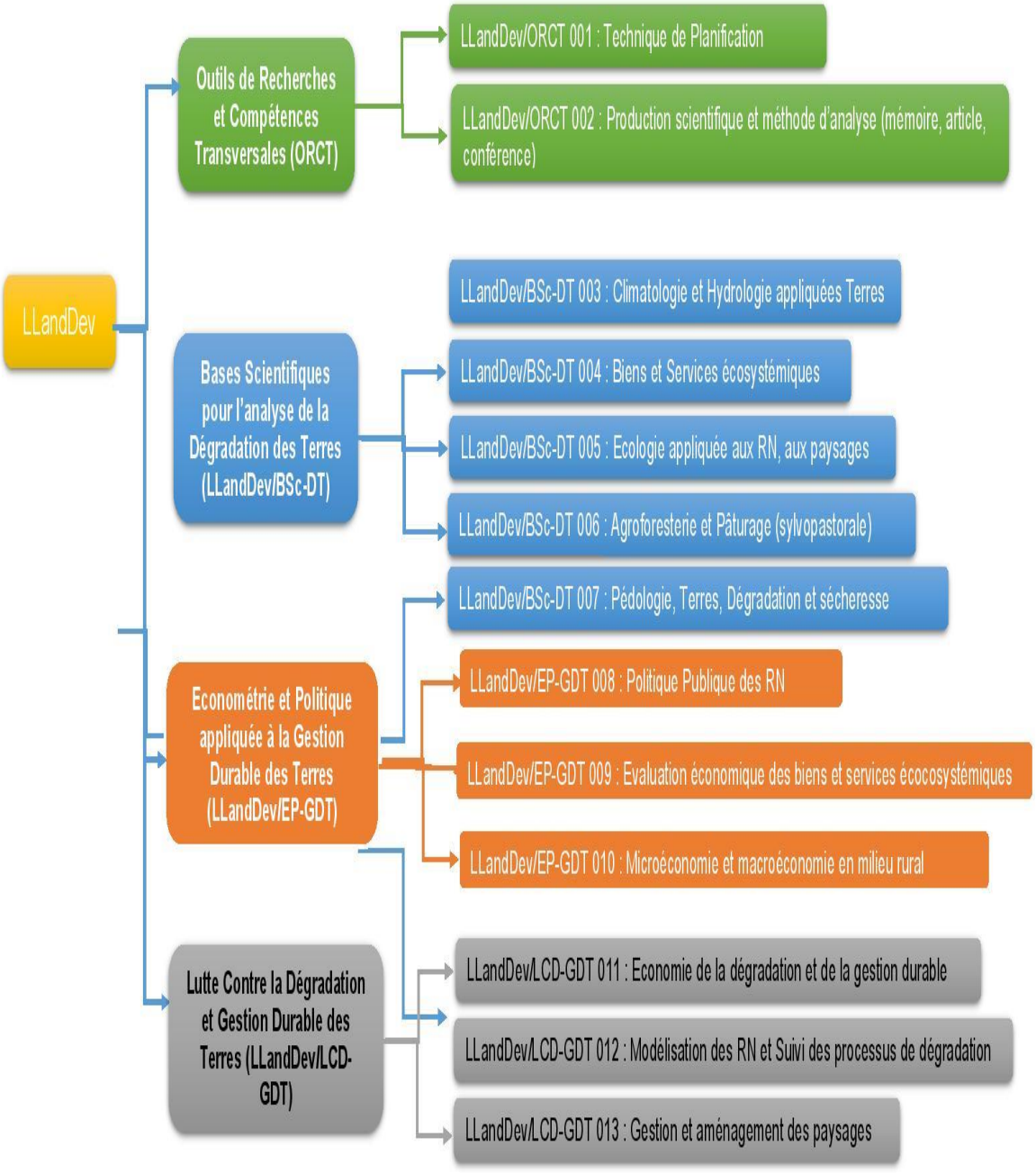
Prérequis

Tous les cours acquis en M1 en Foresterie et Environnement sont prioritaires.

Conditions d'admissions

Les étudiants et professionnels sont admis par sélection de dossier conformément aux modalités d'accès régies par la Mention Foresterie et environnement.

2. Contenus de la formation



3. Description des Unités d'Enseignement (UE) et de ses Eléments Constitutifs (EC)

3.1. OUTILS DE RECHERCHES ET COMPETENCES TRANSVERSALES (ORCT)
Nombre de crédits : 3 **Code UE** : LLAndDev/ORCT

3.1.1. Objectifs

Cette Unité d'Enseignement regroupe l'ensemble des outils nécessaires et performants pour traiter, analyser et complémenter des informations que ce soit numériques ou physiques. Elle servira de socle aux autres UE.

3.1.2. Prérequis

Pour suivre cette UE, les étudiants devront avoir les compétences nécessaires dans la recherche documentaire notamment dans la méthodologie de recherche et l'analyse des documents scientifiques.

3.1.3. Éléments constitutifs

3.1.3.1. Enseignements

Eléments constitutifs	Responsables	Cours	TD	TP	Autres	Crédits
Technique de Planification	Randriamiharisoa Delphin	15	15	0		2
Production scientifique et méthode d'analyse	Rabenilalana M.	5	10	0		1
TOTAL		20	25	0	0	3

3.1.3.2. Activités pratiques

Étant donné que l'UE n'est constituée que par des outils de base, il n'y a pas de stages ni de mémoire à effectuer.

3.1.4. Sujets traités (Annexes 1 et 2)

3.1.4.1. Technique de planification

Ce cours a pour objet de disposer d'un ensemble de directives pratiques sur les différents aspects de planification stratégiques et programme d'action à différentes échelles et applicable à des contextes variés de l'environnement. Seront fournies dans ce cours toutes les techniques possibles d'utiliser en planification. Il fournira aux étudiants un aperçu complet sur les implications de la planification, et leur montrera le lien entre planification, suivi et évaluation.

3.1.4.2. Production scientifique et méthode d'analyse

La méthode scientifique appliquée à la recherche environnementale et forestière est une méthode éprouvée qui repose sur trois principaux éléments de base : l'utilisation de données validées issues des collectes sur terrain ou dans les publications scientifiques, la pratique du raisonnement logique et la

pratique d'une attitude critique. Ce cours a pour objectifs d'approfondir les connaissances acquises de la méthodologie de recherche en poussant les étudiants à décortiquer des publications et revues scientifiques selon les thèmes étudiés et les conduisent vers la rédaction d'une publication scientifique.

3.2. BASES SCIENTIFIQUES POUR L'ANALYSE DE LA DEGRADATION DES TERRES (BSc-DT)

Nombre de crédits : 10,33

Code UE : LLAndDev/BSc-DT

3.2.1. Objectifs

Les Cinq (05) éléments constitutifs de cette UE sont primordiaux pour comprendre et bien appréhender le processus de dégradation des terres. Ils constituent le pilier essentiel de ce parcours. Aussi, ils sont obligatoires pour chaque étudiant.

3.2.2. Prérequis

Les connaissances en pédologie, sciences du sol, écologie et foresterie générales, environnement, Agriculture générale sont prioritaires.

3.2.3. Éléments constitutifs

3.2.3.1. Enseignements

Éléments constitutifs	Responsables	Cours	TD et/ouTP	Autres	Crédits
Climatologie et Hydrologie appliquée	Rabefitia Z. Razanakiniaina S.Fidison	30	15		3
Biens et Services écosystémiques	Rabenilalana M.	10	10		1,33
Ecologie appliquée aux Ressources naturelles, aux paysages	Razanaka Samuel Rabenilalana M.	15	15		2
Agroforesterie et Pâturage	Randrianarivelo S.	15	15		2
Pédologie, Terres, dégradation et sécheresse	Randriamboavonjy J.C.	15	15		2
TOTAL		75	70	0	10,33

3.2.3.2. Activités pratiques

Les travaux pratiques relatifs à cette UE se feront pendant les voyages d'études sous forme de collectes et de traitement de données dans le but de constituer une base de données locale et régionale pouvant être mises à jour.

3.2.4. Sujets traités (Annexes 3 à 7)

3.2.4.1. Climatologie et hydrologie appliquées

Ce cours vise à observer l'agro météorologie et les autres systèmes y liés pour une bonne gestion des terres. La terre et le sol sont constamment soumis à l'action du climat dont les effets négatifs constituent un obstacle aux efforts déployés par l'homme pour sa valorisation. Ce cours permettra de voir l'action dégradante du climat sur le sol, les paramètres qui y sont liés et sont responsables.

Les paysages sont en majeure partie construits par l'homme. Les conséquences de l'occupation humaine sur les paysages, l'utilisation de sols, et combien, dans certaines zones, il est rapide de passer d'une situation où la couverture végétale permet de conserver les sols et de limiter le ruissellement à l'apparition de ravines et de glissements de terrain liés à une surexploitation ou à une mauvaise exploitation des versants. La surexploitation des terres en amont conduit au franchissement de seuils en termes de ruissellement ou de concentration d'eau dans le sol ou le sous-sol, qui produisent des déséquilibres (phases d'incision ou déclenchement de phénomènes de solifluxion). Ces déséquilibres ont des conséquences néfastes pour le maintien de l'activité anthropique et parfois pour le simple maintien de l'équilibre des versants.

Ce cours a comme objectif général d'appliquer les différents concepts et notions de l'hydrologie aux différentes manifestations de l'eau à l'échelle d'un bassin versant.

3.2.4.2. Biens et Services Écosystémiques

Dans ce cours seront présentés les écosystèmes comme cadre de toute vie et de toute activité humaine, les biens et services, les bénéfices qu'ils fournissent, leur valeur économique d'une manière générale et les impacts qu'engendre la perte de ces valeurs. Il permet de conscientiser les étudiants sur l'importance de protéger et de bien gérer durablement ces écosystèmes.

3.2.4.3. Écologie appliquée aux Ressources Naturelles (RN), aux paysages

L'écologie appliquée aux ressources naturelles et aux paysages font suites aux acquis en écologie générale. Il est subdivisé en deux grandes parties : la première partie vise à expliquer toutes les activités dégradantes entrainant la modification des écosystèmes et le paysage. La seconde concerne l'écologie du paysage ayant pour objet l'étude des relations entre la structure et l'organisation des paysages et les processus écologiques qui s'y déroulent souvent à l'échelle de grandes régions. Il présente les principes, les méthodes et les applications de l'écologie du paysage. Il aborde entre autres les concepts d'échelle, d'hétérogénéité et de configuration spatiale, en mettant l'accent sur l'importance des perturbations et de l'activité Humaine.

3.2.4.4. Agroforesterie et Pâturage (sylvopastorale)

Ce cours permet de voir un exemple concret de mode de gestion durable qui concilie objectifs forestiers et pastoraux caractéristiques des régions du Sud de Madagascar. Il vise à identifier les conditions de faisabilité et la mise en pratique d'une valorisation combinée des systèmes boisés à l'échelle d'un système d'élevage et d'une forêt. Nombreux outils et de références seront apportés pendant le cours.

3.2.4.5. Pédologie, Terres, Dégradation et sécheresse

Ce cours se spécialise dans l'analyse approfondie de la cause de dégradation des terres en relation directe avec le facteur physique qu'est le sol. Il traite également les impacts de ces dégradations et plusieurs stratégies existantes seront étudiées et discutées avec les étudiants.

3.3. ECONOMIE ET POLITIQUE APPLIQUEE A LA GESTION DURABLE DES TERRES (EP-GDT)

Nombre de crédits : 6

Code UE : LLAndDev/EP-GDT

3.3.1. Objectifs

La présente UE traite tous les aspects politiques et économiques ayant traits à la gestion durable des Terres.

3.3.2. Prérequis

Les étudiants devront avoir une bonne connaissance dans les domaines suivants : Gouvernance, sociologie, législation, socio économie appliquée, droit de l'environnement sont les pré requis nécessaires pour bien appréhender cette UE. Ils doivent maîtriser les concepts fondamentaux liés à ces domaines et capables de les appliquer.

3.3.3. Éléments constitutifs

3.3.3.1. Enseignements

Éléments constitutifs	Responsables	Cours	TD et/ouTP	Autres	Crédits
Politique publique des Ressources Naturelles	Ramamoniisoa B.	15	15		2
Evaluation économique des biens et services écosystémiques	Rabemananjara Z. Rakoto Ratsimba H. Hernandez Sarah	15	15		2
Microéconomie et macroéconomie en milieu rural	Ratefiarivelo Oliarijao	15	15		2
TOTAL		45	45	0	6

3.3.3.2. Activités pratiques

Les travaux pratiques relatifs à cette UE se feront pendant les voyages d'études sous forme de collectes et de traitement de données dans le but de constituer une base de données locale et régionale pouvant être mise à jour.

3.3.4. Sujets traités (Annexes 8 à 10)

3.3.4.1. Politique publique des ressources naturelles

Ce cours a pour principal objectif d'analyser l'évolution de la gouvernance dans toutes ces formes et l'impact de ces changements sur les politiques publiques dans le cadre de la gestion des ressources naturelles, de déterminer les éléments fondamentaux qui entrent dans la conception jusqu'à la mise en œuvre de la politique publique.

3.3.4.2. Biens et Services Écosystémiques

Dans ce cours seront présentés les écosystèmes comme cadre de toute vie et de toute activité humaine, les biens et services, les bénéfices qu'ils fournissent, l'estimation de leur valeur économique et les limites de cette estimation en fonction des méthodes et de la complexité du système. Il s'agit de concilier Terre-environnement, société et économie afin de laisser aux générations futures des écosystèmes (Terres) sains avec suffisamment de ressources pour leur survie.

3.3.4.3. Microéconomie et macroéconomie en milieu rural

Ce cours a comme objectif d'approfondir et d'appliquer les principes fondamentaux de la science économique aux problèmes spécifiques en milieu rural entre deux sphères que sont la microéconomie et macroéconomie. Il s'agit ici d'analyser d'une part, les comportements des agents économiques individuels et leur interaction en milieu rural (microéconomie) et d'autre part le comportement économique global saisi à partir de grandeurs et d'agrégats au niveau de l'économie dans son ensemble (macroéconomie).

3.4. LUTTE CONTRE LA DEGRADATION ET LA GESTION DURABLE DES TERRES (LCD-GDT)

Nombre de crédits : 4,67

Code UE : LLAndDev/LCD-GDT

3.4.1. Objectifs

Cette UE permet de comprendre les mécanismes de la dégradation des terres, de la désertification, de la suivre et de définir des plans de lutte et de gestion durable en associant les données sur terrain et les images satellites.

3.4.2. Prérequis

Les étudiants devront maîtriser le SIG et la Téledetection acquis en Master1, les cours économies et aménagement.

3.4.3. Éléments constitutifs

3.4.3.1. Enseignements

Éléments constitutifs	Responsables	Cours	TD et/ouTP	Autres	Crédits
Économie de la dégradation et de la gestion durable des terres	Rabemananjara Z. Hernandez Sarah	15	15		**2**
Modélisation des RN et suivi des processus de dégradation	Rakoto Ratsimba H. Razanaka Samuel Bogaert Jan	5	15		**1,33**
Gestion et aménagement des paysages	Rakoto Ratsimba H. Razanaka Samuel Bogaert Jan	10	15		**1,33**
TOTAL		**30**	**45**	**0**	**4,67**

3.4.3.2. Activités pratiques

Les travaux pratiques relatifs à cette UE se feront pendant les voyages d'études sous forme de collectes et de traitement de données dans le but de constituer une base de données locale et régionale pouvant être mise à jour.

3.4.4. Sujets traités (Annexes 11 à 13)

3.4.4.1. Économie de la dégradation et de la gestion durable des terres

Ce cours se focalise sur l'évaluation économique de la dégradation des terres au niveau mondial et souligne les effets bénéfiques d'une gestion durable des terres. Il considère les enjeux environnementaux et socio-économiques auxquels sont confrontés les hommes.

3.4.4.2. Modélisation des RN et suivi des processus de dégradation

Dans ce cours, la télédétection est incontournable dans la lutte contre la désertification. Il permet de comprendre le processus de dégradation des terres par l'utilisation et l'analyse des images satellitaires issues .de différents capteurs.

3.4.4.3. Gestion et aménagement des paysages

Ce cours vise à gérer durablement la terre dans une perspective de développement économique des territoires, de préservation de l'équilibre écosystémique.

3.5. TRAVAUX PRATIQUES ET VOYAGE D'ETUDE (TP-VE)
Nombre de crédits : 6 **Code UE** : LLAndDev/TP-VE

3.5.1. Objectifs

Les travaux pratiques et les voyages d'étude se dérouleront principalement dans deux zones de Madagascar (Sud et Est) qui s'opposent par leurs conditions climatiques et les services écosystèmiques. Les principaux objectifs sont

- De faire réfléchir les étudiants au processus de dégradation des terres
- De bien discerner les biens et services écosystémiques offerts par ces zones distinctement opposées
- De proposer des solutions à une gestion durable des Terre au travers d'une dynamique d'échange et de travail en commun avec les communautés locales.

A long terme, une base de données sur l'évolution de la dégradation des terres et sur les changements des comportements face aux biens et services écosystémiques sera acquise et actualisée annuellement à travers les collectes de données.

3.5.2. Prérequis

Ces activités ne se feront qu'à la fin de toutes les UE et se dérouleront au cours du second semestre.

3.5.3. Éléments constitutifs

3.5.3.1. Enseignements

Éléments constitutifs	Responsables	Cours	TD et/ouTP	Autres	Crédits
Travaux pratiques et Voyage d'étude	Tous les Enseignants au sein du Parcours		75	100	6
TOTAL			75	100	6

3.5.3.2. Activités

Les voyages sur terrain consistent en une série de visites de terrain reliées au thématique du parcours et reflètent les réalités locales. Au cours de ces visites, des données concernant chaque élément constitutif seront collectées et seront actualisées annuellement.

Aussi, avant la descente sur terrain, une série de questionnaire (pour ce qui concerne la politique publique, les économies des biens et services écosystémiques, microéconomie et macroéconomie) sera élaborée conjointement par les étudiants et les Responsables du cours au préalablement pour permettre la mise à jour plus tard.

En ce qui concerne les données physiques et spatiales, des cartes préalablement traitées serviront de support pour vérification de la réalité sur terrain.

4. Annexe : Plan des cours

Annexe 1 : Technique de Planification LLandDev/ORCT 001 (Delphin Randriamiharisoa)

OBJECTIFS

- Disposer d'un ensemble de directives pratiques sur les différents aspects de planification stratégiques et programme d'action à différentes échelles et applicable à des contextes variés de l'environnement
- Connaître toutes les techniques possibles d'utiliser en planification et leur implication
- Montrer le lien entre planification, suivi et évaluation.

Volume Horaire

Nombre de crédit : 2 Cours : 15 heures TD : 15 heures

PLAN

INTRODUCTION

Politique, Programme, Stratégie, Projet

CHAPITRE I :

1. Définition
2. Outils
3. Niveaux de planification

CHAPITRE II : DEMARCHES DE LA PLANIFICATION

1. Diagnostics (concept, justification, portée)
2. Formulation des politiques
3. Sélection des objectifs et domaines prioritaires
4. Suivi

CHAPITRE III : SUIVI ET CONTRÔLE

1. Structure
2. Processus
3. Indicateurs

CHAPITRE IV : ETUDE DE CAS

Exercices sur la formulation d'une politique, d'un programme, stratégie et projet à partir de l'identification des arbres de problèmes et de solutions

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active
- Fascicules
- Support numérique

LECTURES

- http://www.fao.org/docrep/w3210e/w3210e00.htm#Contents : Planning for Forest use and Conservation: Guidelines for Improvement
- http://www.ifrc.org/Global/Publications/monitoring/PPP-Guidance-Manual-English.pdf
- http://siteresources.worldbank.org/EXTPOVERTY/Resources/ME_ToolsMethodsNov2.pdf Planning, Monitoring, and Evaluation: Methods and Tools for Poverty and Inequality Reduction Programs
- http://web.undp.org/evaluation/handbook/documents/english/pme-handbook.pdf

I

OBJECTIFS

- Avoir un point de vue critique sur le contenu d'une production scientifique (article, poster, présentation)
- Acquérir des compétences en recherche documentaire et en rédaction
- Permettre aux étudiants de bien communiquer et de vulgariser tant à l'oral qu'à l'écrit la recherche scientifique

Volume Horaire

Nombre de crédit : 1 Cours : 5 heures TD : 10 heures

PLAN

INTRODUCTION

CHAPITRE I : Théorie de la communication

1. Orale
2. Ecrite
3. Méthode d'analyse

CHAPITRE II : Communication scientifique

1. Dans le monde du Média et journalistique
2. Dans le monde académique et professionnel
3. Composition d'un article scientifique, périodiques, facteurs d'impact)
4. Conférences, colloque
5. Analyse des données scientifiques

CHAPITRE III : Production scientifique en matière de développement durable

1. Démarche méthodologique
2. Différentes formes rencontrées
3. Thèmes concernés

CHAPITRE IV : Production écrite

1. Exercices interactifs

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active avec travail de groupe
- Utilisation des technologies de l'information et de la communication

LECTURES

- http://spie.org/samples/9781510619142.pdf How to write a good scientific paper (Mack,C. 2018)
- http://www.columbia.edu/cu/biology/ug/research/paper.html writing a scientific research article
- https://www.elsevier.com/connect/how-to-give-a-dynamic-scientific-presentation
- https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3852879/ Science Communication to the General Public: Why We Need to Teach Undergraduate and Graduate Students this Skill as Part of Their Formal Scientific Training
- http://hsp.berkeley.edu/sites/default/files/ScientificPosters.pdf
- https://www.uoguelph.ca/ib/sites/uoguelph.ca.ib/files/public/Creating%20an%20Effective%20Scientific%20Poster.pdf
- https://career.ucsf.edu/sites/career.ucsf.edu/files/migrate/PSR.PosterWkshp.08-29-14.pdf

OBJECTIFS

- Comprendre de façon objective et réaliste l'impact des différents éléments du temps
- Décrire les facteurs climatiques ayant une influence sur la dégradation des terres

Volume Horaire

Nombre de crédit : 3 Cours : 30 heures TD : 15 heures

PLAN

INTRODUCTION

PARTIE I : CLIMATOLOGIE

CHAPITRE I : Agrométéorologie et Agroclimatologie

1. Concept
2. Observations agrométéorologiques
3. Echelles d'observation

CHAPITRE II : Caractéristiques des composantes

1. Indices thermiques et hydriques
2. Interaction végétation/climat
3. Interaction eau-sol-plante-climat

CHAPITRE III : Suivi agrométéorologique

1. Prévision et prévention
2. Modélisation

CHAPITRE IV : Application et étude de cas

1. Mode d'exploitation des données météorologiques
2. Exemples de modèle

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active avec travail de groupe
- Fascicules
- Support numérique

LECTURES

- http://vro.agriculture.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/0d08cd6930912d1e4a2567d2002579cb/3724e335c10c6170ca2574c8002ccb33/$FILE/Agrometeorology%20in%20Relation%20to%20the%20Control%20of%20Soil%20Erosion.pdf
- http://www.c-ciarn.uoguelph.ca/documents/sivakumar_2000.pdf
- http://www.wamis.org/agm/meetings/etasad08/etasad_Kinthuia.pdf
- http://www.the-eis.com/data/literature/Land%20degradationand%20human%20vulnerability%20in%20the%20%20drylands%20of%20northern%20Namibia.pdf Introduction to climate change and land degradation
- http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_extreme_agrometeorological_events_1997.pdf

PARTIE II : HYDROLOGIE

CHAPITRE I : Le complexe bassin versant

1. Définition
2. Cycle hydrologique
3. Caractéristiques physiques et leurs influences sur l'écoulement des eaux
4. Modèles numériques

CHAPITRE II : Les variables hydrologiques des bassins versants

1. Précipitations
2. Évaporation et évapotranspiration réelles
3. Débit du cours d'eau
4. Interception
5. Infiltration

CHAPITRE III : Modélisation hydrologique

CHAPITRE IV : Application et étude de cas

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active avec travail de groupe
- Fascicules
- Support numérique

LECTURES (à remplir)

-

OBJECTIFS

- Comprendre la dépendance des populations vis-à-vis des services éco systématiques et leur impact
- Capable d'Evaluer l'état et l'évolution probable des biens et services écosystémiques

Volume Horaire

Nombre de crédit : 1,33 Cours : 10 heures TD : 10 heures

PLAN

INTRODUCTION

CHAPITRE I : Biens et services ecosystémiques

1. Concept
2. Différents services
3. Services écosystémiques et bien être humain
4. Rôle des services écosystémiques
5. Indicateurs pour les biens et services

CHAPITRE II : Evaluation économique

1. Concepts
2. Valeur économique totale
3. Méthodes d'évaluation des valeurs

CHAPITRE III : Changements des écosystèmes

1. Facteurs critiques responsables de l'évolution des biens et services de l'écosystème
2. Gains et pertes dus aux changements
3. Tendances de dégradation des écosystèmes

CHAPITRE IV : Intégration des services écosystémiques dans la planification du développement

1. Services écosystémiques par types d'écosystèmes (forestier, mangroves, savanes, agricole)
2. Synergies et compromis des services écosystémiques
3. Approche d'intégration

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active avec travail de groupe
- Fascicules (lectures suivies de discussions)
- Support numérique

LECTURES

- https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X16306677 Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework
- https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041615300504 An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020

- http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.8156&rep=rep1&type=pdf ecological goods and services of coral reefs ecosystems
- http://www.honolulutraffic.com/Admin_Record/Administrative_Record_rev_2.28.12/Administrative_Record_Volumes_1-11/Vol001_AR00000001/AR00011751.pdf A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services
- http://www.profwillemvanriet.com/images/D0-Chapter-1-Integrating-the-ecological-and-economic-dimensions-in-biodiversity-and-ecosystem-service-valuation_2.pdf
- https://www.researchgate.net/profile/Ekko_Van_Ierland/publication/222704896_Spatial_Scales_Stakeholders_and_the_Valuation_of_Ecosystem_Services/links/00b7d53cbed6c30ba1000000.pdf
- http://www.uvm.edu/rsenr/taylorricketts/documents/Zhang_2007_Ecological%20Economics.pdf

Annexe 5 : Ecologie appliquée aux RN, aux paysages LLandDev/BSc-DT 005 (Samuel Razanaka, Mihajamanana Rabenilalana)

OBJECTIFS

- Capable d'analyser les composantes de l'écosystème susceptible de modifier son bon fonctionnement
- Démontrer les relations entre la structure et l'organisation des paysages ainsi que les processus écologiques

Volume Horaire

Nombre de crédit : 2 Cours : 15 heures TD : 15 heures

PLAN

INTRODUCTION

CHAPITRE I : Facteurs de dégradation des RN

1. Impact de la technologie
2. Explosion démographique contemporaine
3. Problème des pollutions

CHAPITRE II : Dégradation des écosystèmes et éradication de la biodiversité

1. Destruction des différents écosystèmes
2. Episodes et mécanismes d'extinction
3. Mécanismes des extinctions
4. Evaluation du degré de menace

CHAPITRE III : Ecologie du paysage

1. Concept
2. Structure du paysage

CHAPITRE IV : Dynamique du paysage

1. Processus naturel
2. Rôle de l'homme
3. Flux entre les éléments adjacents
4. Interaction plante-animal
5. Mode de fonctionnement
6. Changement du paysage

CHAPITRE V : Mode de gestion

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active avec travail de groupe
- Fascicules
- Support numérique

L'apprentissage est basé sur des présentations magistrales, des lectures et des discussions de la littérature, ainsi que sur des travaux pratiques

LECTURE

- RAMADE, F. 2012. Ecologie appliquée : action de l'homme sur la biosphère, DUNOD,
- FORMAN & GODRON, 1986, Landscape Ecology, Wiley
- FORMAN & GODRON, 2003, Landscape Ecology, Wiley

- Revue et articles scientifiques

Annexe 6 : Agroforesterie et Pâturage (sylvopastorale) LLandDev/BSc-DT 006 (Seheno Randrianarivelo, Samuel Razanaka))

OBJECTIFS

- Identifier les caractéristiques de la combinaison arbre-forêt-agriculture-élevage
- Expliquer les principes du sylvopastoralisme dans la gestion durable des terres

Volume Horaire

Nombre de crédit : 2 Cours : 15 heures TD : 15 heures

-

PLAN

INTRODUCTION

CHAPITRE I : Le système Agroforesterie

1. Notion
2. Interrelation Arbre-système agricole
3. Critères de choix
4. Différents systèmes et leurs fonctionnements

CHAPITRE II : Pâturage

1. Concept
2. Types de pâturage
3. Principes de Gestion du pâturage

CHAPITRE III : Sylvopastoralisme

1. Contextes
2. Enjeux
3. Intégration du pastoralisme dans les objectifs forestiers
4. Principes

CHAPITRE IV : Etude de cas

1. Dans les zones humides
2. Dans les zones sèches

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active avec travail de groupe
- Fascicules
- Support numérique

LECTURES

- https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/agroforestry
- https://www.greatplainsgrowersconference.org/uploads/2/9/1/4/29140369/garrett,_g_-_overview_of_agroforestry.pdf
- https://www.researchgate.net/publication/282152011_agroforestry_systems_in_nigeria_review_of_concepts_and_practices
- https://www.ajol.info/index.php/jrfwe/article/view/82812/72931
- http://www.centerforagroforestry.org/pubs/training/chap4_2015.pdf
- www.mdpi.com/2071-1050/8/6/574/pdf Agroforestry—The Next Step in Sustainable and Resilient Agriculture

- https://attra.ncat.org/attra-pub/download.php?id=62 : Agroforestry : an overview
- http://asq.africa.ufl.edu/files/Gezon-Freed-Vol-3-Issue-2.pdf : Agroforestry and Conservation in Northern Madagascar: Hopes and Hinderances
- http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/tools/tool-detail/en/c/320003/ agroforestry database

Annexe 7 : Pédologie, Terres, Dégradation des Terres et sécheresse LLandDev/BSc-DT007 (Jean Chrysostome Randriamboavonjy)

OBJECTIFS

- Analyser la cause de la dégradation des terres et ces impacts

Volume Horaire

Nombre de crédit : 2 Cours : 15 heures TD : 15 heures

PLAN

INTRODUCTION

CHAPITRE I : Fondamentaux des sols

1. Formation des sols
2. Fertilité physique
3. Fertilité chimique
4. Répartition des sols dans le monde
5. Facteurs de dégradation

CHAPITRE II : Évaluation de la Dégradation des terres

1. Indice synthétique de dégradation
2. Méthodes d'évaluation de la dégradation des terres liée aux activités humaines
3. Indicateurs complémentaires pour caractériser l'état de dégradation

CHAPITRE III : Impacts de la dégradation et Sécheresse

1. Spatiaux (sur site et hors site)
2. Temporels
3. A l'échelle sociale et économique (riche vs pauvre)
4. Bilan

CHAPITRE IV : Stratégie de lutte

1. Gestion de lutte contre la dégradation des terres
2. Stratégies socio-économqiues
3. Techniques de maîtrise de la dégradation

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active avec travail de groupe
- Fascicules
- Support numérique

LECTURES

- The state of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) in www.fao.org/3/a-i1688e.pdf
- http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_extreme_agrometeorological_events_1997.pdf
- http://knowledge.unccd.int/
- https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/use/?cid=nrcs142p2_054028
- http://www.who.int/globalchange/ecosystems/desert/en/
- http://www.mdpi.com/journal/sustainability : The Soil Degradation Paradox: Compromising Our Resources When We Need Them the Most

OBJECTIFS

- Analyser l'évolution de la gouvernance, les éléments qui influencent son changement, ceux qui entrent dans sa mise en œuvre

Volume Horaire

Nombre de crédit : 2 Cours : 15 heures TD : 15 heures

PLAN

INTRODUCTION

Définition

Genèse

Etat et politique publique

Acteurs

CHAPITRE I : Conflits pour les ressources naturelles

1. Communautés discursives
2. Gestion des ressources naturelles
3. Dimension foncière des droits d'accès aux ressources naturelles
4. Relations sociales
5. Contexte international
6. Pratiques sociales et conflits
7. Pratiques de gouvernance

CHAPITRE II : Politique publique pour la gouvernance environnementale

1. Incohérence des politiques publiques et analyse des failles
2. Articulation des échelles de pouvoir et de décisions
3. Décentralisation
4. Rôle de l'état comme médiateur et arbitre
5. Comptabilité Nationale « Verte » et indicateurs macro d'intégration du capital naturel
6. Instruments politiques et incitations économiques et réglementaires

CHAPITRE III : Études de cas

1. Analyse comparative des politiques portant sur les cautions environnementales
2. Enjeux des ressources naturelles et types de gouvernance
3. Services écosystémiques et développement durable et la réduction de la pauvreté : comment traiter la question de l'équité sociale.

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active avec travail de groupe
- Fascicules
- Support numérique

LECTURES

- https://journals.openedition.org/vertigo/18407 : Productions d'inégalités d'accès à la ressource foncière et politiques de préservation du foncier : une approche comparative

- https://journals.openedition.org/developpementdurable/11512 : Modalités de qualification et de gestion des ressources naturelles
- https://www.ajol.info/index.php/mcd/article/viewFile/171682/161083 La place pour le concept d'État gardien en droit de l'environnement dans l'encadrement du secteur minier à Madagascar
- http://agritrop.cirad.fr/588121/1/ID588121.pdf Madagascar, l'accès à la terre et à l'emploi comme moteur des migrations rurales
- https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01653670/document Institutions, gouvernance et croissance de long terme à Madagascar : l'énigme et le paradoxe

Annexe 9 : Evaluation économique des biens et services ecosystémiques LLandDev/EP-GDT 009 (Zo Rabemananjara, Harifidy Rakoto Ratsimba, Sarah Hernandez)

OBJECTIFS

- Estimer la valeur économique des BSE, les interpréter
- Connaitre, comprendre et reconnaitre les limites de l'évaluation économique selon le contexte et la méthode utilisée
- Application à partir de l'approche ELD (Économie de la Dégradation des Terres ou de la Gestion Durable des Terres)

Volume Horaire

Nombre de crédit : 2 Cours : 15 heures TD : 15 heures

PLAN

INTRODUCTION

CHAPITRE I : Valeurs des biens et services écosystémiques BSE

1. Pourquoi analyser la valeur économique des BSE
2. Classification
3. Concept de valeur

CHAPITRE II : Description des méthodes d'analyse économique

1. Différents types de méthodes
2. Analyse comparative des méthodes
3. Choix à partir des études de cas

CHAPITRE III : Limites de l'analyse de la valeur économique des BSE

1. Complexité du système
2. Seuils écologiques
3. Transfert des bénéfices
4. Possibilités d'inclusion
5. Échelles

CHAPITRE IV : Etudes de cas

1. Évaluation des services écosystémiques par type d'écosystèmes (Bassins versants, zones humides, etc.)
2. Élaboration et mise en place des scenarii de bonnes pratiques de gestion durables des terres.
3. Identification de conditions de réussite (mécanisme de soutien, instruments économiques et de marché)

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active avec travail de groupe
- Fascicules
- Support numérique

LECTURES

- https://www.nss-journal.org/articles/nss/pdf/2012/01/nss120002.pdf le concept de services ecosystémiques en économie
- http://www.environnement-suisse.ch/uw-1102-f Indicateurs pour les biens et services ecosytémiques
- https://www.researchgate.net/profile/Jerome_Dupras/publication/264044765_L%27evaluation_economique_des_biens_et_services_ecosystemiques_dans_un_contexte_de_changements_climatiques/links/00b7d53cae89dc2dbe000000/Levaluation-economique-des-biens-et-services-ecosystemiques-dans-un-contexte-de-changements-climatiques.pdf
- http://www.set-revue.fr/sites/default/files/articles/pdf/set-revue-services-ecosystemiques-forets-modelisation.pdf

- http://www.elsevier.com/locate/ecocom Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making
- https://www.researchgate.net/profile/Mathew_Williams/publication/259171894_Understanding_the_relationships_between_ecosystem_services_and_poverty_alleviation_A_conceptual_framework/links/53f726eb0cf2888a74976dc3/Understanding-the-relationships-between-ecosystem-services-and-poverty-alleviation-A-conceptual-framework.pdf
- https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041612000101 : Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units
- https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041612000022 : The indicator side in the ecosystem services
- https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378014000685 Changes in the global value of ecosystem services

OBJECTIFS

- Appliquer les principes fondamentaux de la science économique à l'échelle micro et macro liés aux problèmes spécifiques en milieu rural.
- Apprendre à analyser les différents comportements individuel et global à l'échelle économique

Volume Horaire

Nombre de crédit : 2 Cours : 15 heures TD : 15 heures

PLAN

INTRODUCTION

CHAPITRE I : Microéconomie et macroeconomie

1. Définition
2. Origine
3. Distinction
4. Approches Théoriques en econométrie

CHAPITRE II : Economie de la production agricole (rurale)

1. Agriculture et mécanismes des marchés des produits
2. Méthode d'Analyse économique
3. Problèmes liés à la production et aux marchés
4. Rôle de l'état dans la production agricole

CHAPITRE III : Macroéconomie

1. Cadre conceptuel de base, comptable et forme de la macroéconomie
2. Théorie et modèles à la fonction de consommation
3. Détermination de prix, emploi, production en tant que revenu (analyse)
4. Causes de fluctuations dans le temps
5. Politiques économiques adaptées à chaque situation (flux) et leur mise en œuvre
6. Indicateurs macroéconomiques intégrant le capital naturel

CHAPITRE IV : études de cas

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active avec travail de groupe
- Fascicules
- Support numérique

LECTURES

- http://www.pantheonsorbonne.fr/IMG/pdf/GRELLET-MICRODEV.pdf Microeconomie du développement
- http://www.fao.org/docrep/009/y5673f/Y5673F00.htm#TOC : Politiques de développement agricole, Concepts et expériences

Annexe 11 : Économie de la dégradation et de la gestion durable des terres LLandDev/LCD-GDT 011 (Zo Rabemananjara, Sarah Hernandez)

OBJECTIFS

- Analyser les pertes de productivité, la méthode des coûts de remplacement et l'évaluation des pertes en terre
- Analyser les couts de réhabilitation des terres

Volume Horaire

Nombre de crédit : 2 Cours : 15 heures TD : 15 heures

PLAN

INTRODUCTION

CHAPITRE I : Dégradation des terres et de la désertification

1. Définition
2. Vecteurs de dégradation
3. Impacts

CHAPITRE II : Méthodes d'évaluation économiques

1. Valeurs économiques totales
2. Modèles empiriques
3. Estimation des pertes
4. Estimation des coûts d'inaction

CHAPITRE III : Coûts de la gestion durable des terres

1. Évaluation des coûts d'action
2. Rapports coûts-bénéfices et avantages-coûts

CHAPITRE IV : Coûts sociaux de la dégradation et de la désertification

1. Types de migrations
2. Caractéristiques des migrations
3. Coûts de migrations
4. Politiques de stabilisation des migrations

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active avec travail de groupe
- Fascicules
- Support numérique

LECTURES

- http://www.greengrowthknowledge.org/resource/economics-land-degradation-and-improvement-global-assessment-sustainable-development
- https://europa.eu/capacity4dev/unep/document/economics-land-degradation-africa-benefits-action-outweigh-costs-complementary-report-eld-i
- https://www.nmbu.no/sites/default/files/pdfattachments/eld-unep-report_05_web_b-72dpi_1.pdf

- https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19168-3_1 Economics of Land Degradation and Improvement: An Introduction and Overview
- https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19168-3_2 : Concepts and Methods of Global Assessment of the Economics of Land Degradation and Improvement
- https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19168-3_6 Global Cost of Land Degradation
- http://inweh.unu.edu/wp-content/uploads/2014/05/ELD-Interim-Report-Web-Version4.pdf
- https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-19168-3.pdf Economics of Land degradation and Improvement: A global assessment for sustainable development

Annexe 12 : Modélisation des RN et suivi des processus de dégradation LLandDev/LCD-GDT 012 (Harifidy Rakoto RAtsimba, Samuel Razanaka, Jan Bogaert)

OBJECTIFS

- Analyser la dynamique spatio-temporelle de l'utilisation de terres et les tendances évolutives
- Déterminer les méthodes et techniques d'évaluation du processus de dégradation par l'utilisation de la télédétection et SIG

Volume Horaire

Nombre de crédit : 1,33 Cours : 5 heures TD : 15 heures

PLAN

INTRODUCTION

CHAPITRE I : Rappel télédétection et SIG

1. Mise en évidence des indices décelables par des mesures radiométriques
2. Utilisation de la télédétection

CHAPITRE II : Modélisation des changements

1. Dans le temps, dans l'espace, spatio-temporelle
2. Modélisation géométrique
3. Modèles spatiaux et SIG

CHAPITRE III : Méthodes et techniques d'évaluation spatiale

1. Définition des situations initiales et situations de références
2. Changements et mesures d'impacts
3. Contextualisation et niveau d'échelle des indicateurs spatiaux
4. Processus de dégradation et indicateurs spatiaux

CHAPITRE IV : Exercices et applications

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active avec travail de groupe
- Fascicules
- Support numérique
- Manipulation de logiciel SIG et Télédetection

LECTURES

- https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ldr.2656 S-WORLD: a global soil map for environmental modelling
- https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19168-3_5 Evaluating Global Land Degradation Using Ground-Based Measurements and Remote Sensing
- https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/final_report_eld_18july_2_.pdf Biophysical Analyses Final Report
- https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-19168-3.pdf Economics of Land degradation and Improvement: A global assessment for sustainable development
- http://www.eld-initiative.org/fileadmin/pdf/2016_Turner_AgESmodeling.pdf A review of methods, data, and models to assess changes in the value of ecosystem services from land degradation and restoration

Annexe 13 : Gestion et aménagement des paysages LLandDev/LCD-GDT 013 (Harifidy Rakoto Ratsimba, Jan Bogaert)

OBJECTIFS

- Connaître et maîtriser les différents outils et méthodes dans l'étude d'un paysage

Volume Horaire

Nombre de crédit : 1,33 Cours : 10 heures TD : 15 heures

PLAN

INTRODUCTION

CHAPITRE I : Paysage, un écosystème complexe

1. Composantes d'un paysage
2. Dynamique

CHAPITRE II : Planification et gestion des paysages

1. Paysage naturel
2. Paysage forestier
3. Paysage agricole
4. Autres

CHAPITRE III : Qualité d'un paysage

1. Méthode directe d'estimation
2. Modèle d'équilibre de paysage
3. Services écosystémiques au niveau d'un paysage : analyse et gestion

CHAPITRE IV : Modélisation, gestion et aménagement

1. Modèles à partir de la cartographie
2. Construction de modèles
3. Restauration des paysages

METHODES PEDAGOGIQUES ET MOYENS DIDACTIQUES

- Pédagogie active avec travail de groupe
- Fascicules
- Support numérique

LECTURES

- http://www.fao.org/3/i8324en/i8324en.pdf Landscape fo life : Approaches to landscape management for sustainable food and agriculture
- http://www.worldbank.org/en/topic/environment/brief/landscapes
- https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.13284 Integrated landscape approaches to managing social and environmental issues in the tropics: learning from the past to guide the future
- https://www.fs.fed.us/research/publications/misc/63356_2005_Lamb%20et%20al_Restoration_Science.pdf
- http://www.csu.edu.au/faculty/science/herbarium/riverina/chapters/chapter8.pdf
- http://www.ingentaconnect.com/content/cfa/ifr/2015/00000017/A00303s3/art00003?crawler=true
- http://www.fao.org/3/a-i5036e.pdf : Global guidelines for the restoration of degraded forests and landscapes in drylands Building resilience and benefiting livelihoods
- http://www.itto.int/direct/topics/topics_pdf_download/topics_id=1550000&no=1&disp=inline ATO/ITTO principles, criteria and indicators for the sustainable management of African natural tropical forests
- https://www.wocat.net/library/media/13/
- https://www.wocat.net/library/media/77/
- https://www.wocat.net/library/media/87/

XX

- https://www.wocat.net/library/media/131/

Annexe 10 : Programme de recherche du Parcours Terre, Paysage et Développement

LandDev

PROGRAMME DE RECHERCHE

2019 - 2023

Table des matières

1. CONTEXTE 1
2. MISSIONS ET OBJECTIFS DU LLANDDEV 1
3. AXES DE RECHERCHE 2
3.1. AXE 1 : LE SOL 3
3.1.1. Les qualités et fonctions du Sol *4*
3.1.2. La cartographie du Sol *6*
3.2. AXE 2 : LE PAYSAGE 7
3.3. AXE 3 : L'ÉCONOMIE DE LA DEGRADATION 8
4. REFERENCES ..... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

1. Contexte

La FAO estime qu'au cours des 40 dernières années, l'érosion a ôté à la production près d'un tiers des terres arables dans le monde (Fischer, et al, 2011). Les estimations de la perte annuelle des sols fertiles oscillent entre 24 milliards de tonnes (UNCCD) et 75 milliards de tonnes (Gnacadja, 2012 ; Eswaran, et al, 2001). De ce constat, la dégradation des terres constitue de plus en plus une préoccupation d'ordre mondial dont les conséquences sont perçues particulièrement dans les pays en voie de développement.

La réduction considérable des terres arables influe directement l'autosuffisance alimentaire de la population dans ces pays. Madagascar n'est pas épargné par ce fléau mondial. L'environnement à Madagascar a connu un changement global ces dernières décennies notamment en matière de productivité agricole, dégradation des ressources naturelles, une croissance démographique élevée et des variations climatiques assez intenses. 12 des 22 régions du pays sont touchées par le processus de désertification.

Conscients de ce changement et de l'importance de la lutte contre la dégradation des terres, le Laboratoire de Recherches LlandDev a été créé en 2018 suite à une initiative de plusieurs chercheurs pluridisciplinaires travaillants dans plusieurs secteurs à Madagascar avec un focus particulier sur la gestion des connaissances en matière de dégradation et de restauration des sols en lien avec les moyens d'existence des populations locales.

2. Missions et objectifs du LlandDev

La principale mission du LlandDev est d'appuyer la recherche, la formation et les études en matière de dégradation des terres, de gestion des paysages et développement des terroirs et des territoires. Elle sera ainsi appelée à développer un programme de recherches et des études de manière permanente sur ces thématiques et appuyer en même la formation des générations futures.

Pour cela, plusieurs objectifs spécifiques s'y rattachent :

- Appuyer les processus d'analyse au niveau national sur les paysages pour un développement des terroirs et des territoires

- Assurer une gestion des connaissances permanente sur la dégradation des terres et la gestion durable des terres
- Appuyer la formation universitaire sur le développement des politiques publiques en matière de gestion des terres sur la base d'études approfondies sur l'évaluation économique des options de décision
- Établir des relations de coopération avec d'autres ONGs, d'autres associations au niveau local, régional et international et les collectivités locales décentralisées ou délocalisées.

3. Axes de Recherche

Les domaines d'application du laboratoire s'inscrivent dans le cadre de la recherche sur l'économie de la dégradation des terres. Ils croisent des regards multidisciplinaires de la Gestion d'utilisation des Terres et des Ressources Naturelles (biens et services) depuis leurs utilisations peu dénaturées (espaces agricoles, pâturages, espaces ouverts, espaces urbaines, formation des paysages, etc.), leurs modifications et leurs dégradations dans le temps et dans l'espace (changements, conversions des paysages), les impacts sociaux et économiques jusqu'à la restauration de ces ressources et la préservation des biens et services écosystémiques. Des analyses mixtes, quantitatives et qualitatives enrichissent les différents angles d'observation.

Compte tenu des contextes nationales sur la dégradation des terres, les points suivants seront développés dans ce programme de recherche :

- Consolidation des données existantes et d'une base d'information utile pour la prise de décision. Cela comprend aussi bien les éléments de la recherche appliquée, notamment dans les données biophysiques ainsi que dans les domaines des sciences sociales et économiques ;
- Promotion d'une veille scientifique technique et politique, nationale ou internationale, et de prospective sur les grands enjeux liés à l'aménagement du territoire, l'écologie du paysage, les systèmes socio-économiques et les opportunités d'une croissance verte.
- Développement d'outils opérationnels issus de la recherche scientifique pour être mis à la disposition des décideurs locaux, régionaux et nationaux, dans une approche pluridisciplinaire et en intégrant les spécificités locales.

- Renforcement à une prise de décision éclairée permettant des arbitrages en trouvant un équilibre entre l'urgence environnementale et l'impact socio-économique. Il faut reconnaître un certain décalage dans le temps entre le temps de la recherche et l'urgence de la décision. Cela implique une forme d'anticipation alimentée par une veille scientifique et de prospective.

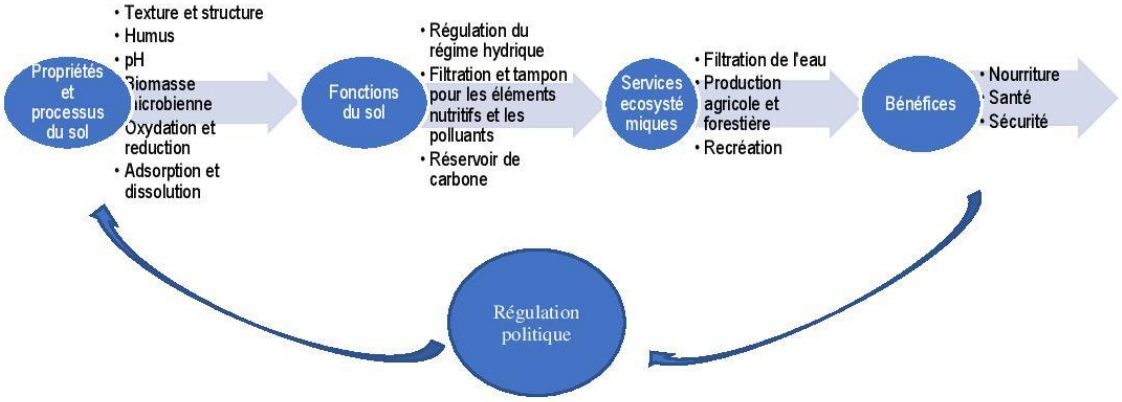
Ainsi, trois principaux axes seront à développer :

- Axe 1 : Le sol en tant que composante biophysique et support.
- Axe 2 : Le paysage
- Axe 3 : L'économie de la dégradation du sol

3.1. Axe 1 : Le Sol

Grâce à ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, le sol remplit de multiples fonctions pour l'environnement et la société. Le sol ne constitue pas seulement la base de la production alimentaire et de la biodiversité. Il filtre l'eau et assure ainsi un approvisionnement en eau potable. Il stocke l'eau et le carbone, réduisant ainsi les risques d'inondation, et joue un rôle important dans la protection du climat. C'est un actif incontournable dans toute stratégie de développement. Et, la plupart des ménages ruraux se trouvant dans les pays pauvres en dépendent fortement pour se nourrir. Une utilisation durable du sol suppose donc que ses multiples fonctions, dont l'ensemble détermine la qualité du sol, soient ménagées et préservées.

Et, pour y arriver, il convient de connaitre les caractéristiques du sol pour pouvoir le gérer durablement.



3.1.1. Les qualités et fonctions du Sol

3.1.1.1. Contextes et objectifs

Les zone arides et semi arides, classées comme écosystèmes fragiles, constituent une importante partie des réserves en terres et en ressources écologiques pour le futur. Ces écosystèmes, qui supportent des densités de population pauvres croissantes, réagissent mal aux différents types d'exploitation liées aux aléas climatiques successives.

En effet, d'une part, à cause des différents facteurs qui agissent sur le sol tels les variabilités climatiques, les matériaux dont ils sont issus, la topographie et l'environnement, les sols et leurs fonctions au sein d'un écosystème varient fortement d'un endroit à un autre.

D'autre part, les différentes utilisations du sol favorisent sa dégradation vue les moyens de production à disposition des paysan et les techniques culturales. Dans la plupart des cas, les paysans ont recours à l'agriculture itinérante sur brulis reproduisant des systèmes agraires extensifs, fortement consommateurs de terres, directement issue des forêts (Buttoud, 2001). Et, le recours à des pratiques non adéquates récurrentes dans certaines zones dont les zones semi-arides ont des effets négatifs sur la qualité des sols agricoles qui deviennent peu fertiles et plus vulnérables à l'érosion.

Eu égard à ces problématiques, cet axe 1.1 vise comme principal objectif à caractériser l'incidence des différentes utilisations des terres sur la stabilité structurale et l'accumulation de la matière organique du sol

Différents mécanismes entrent en jeu dans l'assimilation des matières organiques dans le sol. Et selon le type de sol, ces mécanismes agissent différemment selon son intensité. Dans le but de déterminer les différents apports, il est important de bien évaluer la fertilité du sol à travers ses :

- Caractères physiques (texture, structure, porosité, etc.)
- Caractères chimiques (teneur en éléments minéraux, taux d'acidité)
- Caractères biologiques (présence de matière organique et de microorganisme et leur disponibilité, etc.).

Le tableau ci-après résume les différents indicateurs couramment utilisés dans l'évaluation de la qualité des sols et ses fonctionnements.

Tableau 1: Indicateurs de qualité et fonctions de sol

Groupe	Indicateurs	Eléments d'évaluation
Physique	Profondeur	Niveau de la nappe
	Topographie	Pente, bas, fond
	Granulométrie	Texture
Chimique	Matière organique	Teneur
	pH	Taux d'acidité
Biologique	Respiration	Capacité biotique
	Dénitrification	Diversité microbienne
Visuel	Matière organique	Couleur

3.1.1.2. Méthodes

Observation sur terrain

Creuser une fosse pédologique aide à connaître le sol en trois (3) dimensions. Elle permet d'évaluer la fertilité physique (structure, porosité, compacité) et biologique (présence de faune) et de révéler d'éventuels dysfonctionnements.

Le profil cultural pourra être observé à travers l'observation des strates superficielles de sol. Il permet de diagnostiquer l'impact des pratiques sur la fertilité physique du sol.

Analyse au laboratoire

Cette démarche complète les observations sur terrain avec la prise d'échantillons du sol. On peut analyser à la fois :

- Le taux de matières organiques
- Le ratio Carbone sur Azote total (C/N)
- La teneur en nitrates
- Le coefficient de minéralisation
- L'indice de stabilité biologique et de la matière organique
- Les teneurs en éléments fertilisants

3.1.2. La cartographie du Sol

3.1.2.1. Contexte et objectifs

Peu de données sur la cartographie des sols existent dans les zones où la dégradation de sols est très ressentie dont Madagascar. Cependant, de forts besoins en données sol à base de modélisation statistique et de traitement d'images sont de plus en plus incontournables pour le développement d'un territoire donné. Face à ces besoins, les méthodes de cartographie des sols ont connu une forte évolution et tiennent une place importante pour tout projet ou programme de développement.

Dans ce sens, l'objectif général est d'établir une cartographie actualisée montrant l'état de la fertilité des sols dans les régions concernées. L'idée est que cette cartographie actualisée servira de base au développement des terroirs et à long terme du territoire tout en considérant les données existantes concernant les données climatiques, les différents types d'utilisations du sol et leur probable évolution.

3.1.2.2. Processus cartographique

A partir des données pédologiques et géologiques connues ou à disposition, une carte de base est à élaborer. Elles seront ensuite vectorisées pour aboutir à une délimitation des différentes unités pédologiques ou autres selon l'utilisation de la carte.

Suivant le même principe, la carte climatique sera vectorisée à son tour de manière à obtenir les différentes zones climatiques sous la base des données de température et pluviométriques.

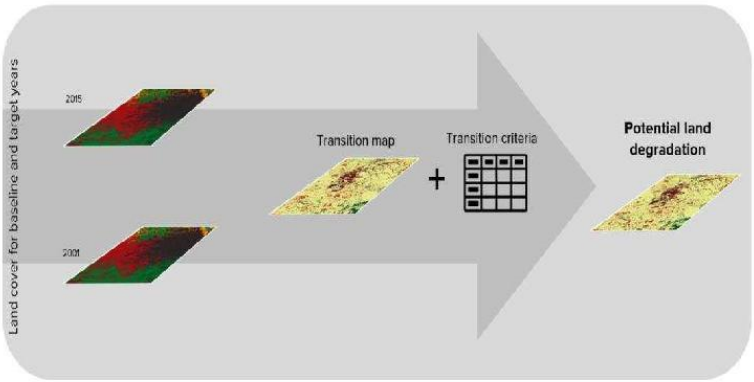
Les zones ayant un climat similaire (température et pluviométrie) et des propriétés pédologiques identiques sont ensuite regroupées en « unités de surface », homogènes sur le plan des propriétés du sol et du climat. La cartographie de ces unités sera ainsi valorisée en créant des cartes spécifiques à une thématique donnée.

3.1.2.3. Collecte d'échantillon de sol

Dans cette rubrique, la connaissance de l'état du sol est essentielle dans chaque unité de sol définie dans le processus cartographique pour déterminer les besoins en éléments fertilisants. Des échantillons de sols seront ainsi recueillis et analysés dans chaque unité de surface réparties dans l'ensemble des zones d'étude (3.1.1).

A partir de ces deux processus, on peut suivre l'état de dégradation des terres en utilisant les indicateurs suivants :

- Couverture du sol
- Productivité
- Stock de carbone dans le sol



Source: http://trends.earth/docs/en/background/understanding_indicators.html

3.2. Axe 2 : Le Paysage

Renforcer les données et le système d'information environnementale constituent le socle de connaissance de base et la recherche appliquée. Que ce soit sur les données biophysiques ou

cartographiques, cette ligne aborderait des questions liées aux dynamiques et impact des effets de la sédimentation, à la gestion des ressources halieutiques, la conservation des écosystèmes clés (zones de mangroves, estuaires, savanes, forestiers etc.).

Les changements d'usage des terres notamment le passage de terres forestières aux terres agricoles nuisent aux écosystèmes forestiers d'autant plus que "l'agriculture est identifiée comme étant de loin la principale cause de déforestation tropicale" (Leroy et al., 2013). La préoccupation des décideurs politique est de choisir sur le domaine forestier, des terres présentant les qualités agronomiques requises aux différents types d'agricultures que les nouveaux exploitants désirent développer tout en préservant les zones fragiles d'intérêt écologique (préservation de la biodiversité), limitant l'impact environnemental de ce changement d'usage et le prix de la défriche et des infrastructures de zones peu exploitables. Il est donc nécessaire de réaliser un inventaire de la qualité de ces sols avant de pouvoir attribuer de nouvelles terres à toute forme d'utilisation.

3.3. Axe 3 : L'Économie de la dégradation

Le prix des terres sur le marché mondial est souvent bien inférieur à leur valeur réelle pour la société. Ces signaux économiques ont conduit la population à surexploiter les terres et donc à dégrader ces ressources précieuses, une dégradation qui a atteint un niveau critique. Dans le monde, 52 % des terres à usage agricole sont modérément ou sévèrement touchées par la dégradation des terres et du sol. Très répandu, le phénomène est présent dans toutes les régions du globe. Les pertes de services écosystémiques qui résultent de la dégradation des terres peuvent atteindre des valeurs monétaires conséquentes par personne et par an. L'ensemble de la population mondiale en souffre indirectement tandis que 1,4 milliard de personnes sont directement touchées par la dégradation des terres.

L'intégration des sols dans les modèles économiques se heurte à la complexité des sols (Ollivier, 2008), véritables carrefours multifonctionnels marqués par une forte hétérogénéité spatiale (Gobat et al., 2003). Il est aujourd'hui impossible de corréler avec certitude les caractéristiques physico-chimiques ou biologiques des sols avec la multitude de fonctions qu'ils remplissent, naturelles ou en rapport direct avec l'homme. Ces fonctions sont étroitement reliées à la

qualité des sols, une notion subjective dont chaque utilisateur du sol possède une définition originale. Le développement du concept de capital sol exige donc une simplification objective et acceptable par tous de la notion de qualité des sols.

Les objectifs visés dans cet axe consistent ainsi à :

- Développer un modèle de dégradation des sols (mesuré en termes de pertes en nutriments des terres cultivées dans les zones concernées)
- Évaluer la perte de productivité agricole comme une fonction de dégradation des terres et des facteurs de production ;
- Estimer le coût de l'intervention : (biologique et/ou mécanique), y compris le coût initial du capital et les coûts opérationnels
- Recommander des actions politiques concrètes.

Annexe 11 : Note de conseil de gouvernement liée à la Communication Verbale relative à la Note Politique et ligne d'actions sur la gestion des feux à Madagascar

REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA

GOUVERNEMENT

SECRETARIAT GENERAL

Antananarivo, le 29 JAN 2020

N° 008 /2020-PM/SGG/SC

NOTE DE CONSEIL

à

MONSIEUR LE MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE
-ANTANANARIVO-

Référence : Communication verbale relative à la Note politique et ligne d'action sur la gestion des feux à Madagascar.

Nous avons l'honneur de vous confirmer que le Conseil du Gouvernement, lors de sa réunion du 06 novembre 2019, a pris note de la communication verbale sus-référencée présentée par le Ministre de l'Environnement et du Développement Durable.

Dans le cadre de la gestion des feux, et après consultations régionales et nationales, le Conseil a approuvé la note politique et ligne d'action sur la gestion des feux à Madagascar, conformément à sa version soumise au conseil de ce-jour, avec l'implication de toutes les forces vives et habilitantes de la nation, à savoir les forces de l'ordre, l'aménagement du territoire, la décentralisation, les secteurs primaires du développement dont l'agriculture, l'élevage, la foresterie.

Le Secrétaire Général du Gouvernement,

GOUVERNEMENT

RAZANADRAINIARISON Rondro Lucette

Copie à :
- Monsieur le Président de la République;
- Monsieur le Premier Ministre, Chef du Gouvernement ;
- Tous membres du Gouvernement ;
- Dir Cab / PM

Annexe 12 : Note Politique et ligne d'actions sur la gestion des feux à Madagascar

Note politique et lignes d'actions sur la gestion des feux à Madagascar

Vers une gestion intégrée des feux

Octobre 2019

Table des matières

Préambule 1

Principes 2

Note politique à l'intention des décideurs 3

Lignes d'actions sur la gestion des feux à Madagascar 5

Coordination intersectorielle : vers une gouvernance partagée de la gestion des feux 5

Détection des feux : vers un système transparent d'alerte et de suivi 5

Prévention en amont des feux : développer des pratiques innovantes de mises en valeur 6

Elimination des feux : Renforcer la capacité pour la lutte active 7

Gestion post-feux forestiers : vers une restauration systématique des paysages forestiers dégradés 8

Préambule

A. En 1881, la reine Ranavalona II a publié le **code dit « des 305 articles »** (Julien, 1932) dont 6 articles (101 à 106) donnent un cadre formel à la gestion des forêts et précisent les sanctions encourues par les contrevenants. Ainsi, l'article 101 annonce : « Les forêts ne doivent pas être incendiées ; **ceux qui les brûleront seront mis aux fers pendant 10 ans ».** Depuis, plus d'une quarantaine de textes ont été promulgués (Rasamoelina, 2003) et se focalisent sur l'interdiction des feux et des défrichements des forêts et la réglementation des feux de culture et de pâturage.

B. L'ordonnance 60-127 du 03 octobre 1960[1] fixant le régime du défrichement et des feux de végétation interdit d'allumer un feu de végétation quel qu'il soit à l'intérieur d'une parcelle du domaine forestier national ou d'une parcelle artificiellement boisée[2] … avec des peines sévères de 5 à 10 ans d'emprisonnement (ordonnance 75-028) sur les feux intentionnels. Ces formes de répressions ont été édictées à la base pour la **sécurisation des investissements en reboisement** qui sont vains en cas de passage de feux mais aussi pour la protection de l'environnement de manière globale. Néanmoins, les statistiques de l'époque faisaient référence à « au moins 2.500.000ha » de feux chaque année pendant la période de colonisation (Gendarme, 1960).

C. A partir des années 1980, avec le développement d'initiatives du gouvernement malgache à travers des crédits d'ajustements, l'Etat s'est de plus en plus penché sur **la conscientisation et la responsabilisation des acteurs et des citoyens** notamment à travers la Charte de l'Environnement de 1990. Les statistiques post-coloniales montrent des variations de chiffres annuelles de 1.000.000 à 3.000.000 ha entre 1970 et 1984 et de 100.000 à 1.000.000 ha entre 1985 et 2000 (Rasamoelina, 2003). Cette situation fait un contraste réel entre les **approches d'interdictions/répressions** et les **approches interdictions/sensibilisations.**

D. Ces efforts ont été aussi accompagnés par une meilleure responsabilisation de tous les acteurs au cours des phases de mise en œuvre du Plan National d'Action Environnementale

[1] Modifiée par l'Ordonnance 62-127 du 01 octobre 1962, par l'Ordonnance n° 72-039 du 30 Octobre 1972 et par l'Ordonnance n° 75-028 du 22 Octobre 1975.
[2] Article 7 de l'ordonnance.

qui est un facteur clé de réussite sur cette action commune de réponse aux feux. Il est ainsi clair que malgré le développement de mesures d'incitation locales pour la prévention et la lutte (décret n°2002-793 du 07 août 2002 définissant les mesures incitatives à la prévention et à l'éradication des feux de brousse), l'organisation institutionnelle de la réponse à la recrudescence actuelle des feux (l'estimation des surfaces brûlées de la NASA fait état de 3.109.025ha en 2018, earthdata.nasa.gov) va être améliorée en intégrant **toutes les parties prenantes au niveau national, régional et surtout local** afin de répondre aux objectifs de l'émergence et d'un développement basé sur une gestion durable et une conservation des ressources naturelles.

E. Les analyses tests des occurrences et des origines des feux, notamment dans la Région Boeny ont montré que près de **90% de surfaces brûlées correspondent à des savanes herbeuses/arbustives,** un peu plus de 5% à des zones forestières, un peu moins de 5% à des zones de cultures et le reste à d'autres surfaces. Les zones de cultures pérennes ne montrent pas de signes de propagation de feux, traduisant des efforts notables des agriculteurs. En revanche, les feux de pâturages demeurent très problématiques avec des feux tardifs avant la saison humide, mais aussi des feux de printanisation en pleine saison sèche par manque de disponibilité de fourrage. La situation dans les zones forestières reste préoccupante vu l'importance de la biodiversité des écosystèmes terrestres du pays. L'impact des feux dans l'espace productif rural comporte ainsi d'une manière générale, un passif environnemental qui compromet la richesse du pays et les sources de bien-être social.

Principes

F. Le gouvernement Malagasy à travers le leadership du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable a développé cette note politique sur la gestion des feux à Madagascar en respect des principes de suivants :

a) La première considération à prendre en compte dans la réponse aux feux est la protection et la **considération de la vie humaine.** Les autres considérations doivent prendre en compte la valeur des **ressources naturelles notamment les forêts.**
b) Les politiques et les **priorités intersectorielles** au niveau régional et national, sur la base des **outils d'aménagements territoriaux** existants, doivent être respectées.

c) La gestion intégrée des feux se base sur une **mobilisation de tous** et doit toucher les situations les plus localisées possibles avec une **valorisation des connaissances locales.**
d) La **répression dans les Aires Protégées doit être stricte et sans équivoque.**
e) La **gestion en amont des feux** doit être priorisée à travers des mesures incitatives afin de réduire considérablement les impacts des feux non maîtrisés.

Note politique à l'intention des décideurs

G. Le gouvernement Malagasy reconnait la gestion durable **et la conservation des ressources naturelles comme un socle du développement du pays**. Ceci sous-entend le maintien du potentiel des ressources naturelles à créer de la richesse permettant d'assurer la **sécurité alimentaire et le bien-être de la population**, principalement rurale. Cependant, les efforts investis non seulement par l'Etat, mais aussi par les différentes parties prenantes, et les communautés elles-mêmes sont fragilisés dans de nombreuses Régions par des pressions liées à la persistance de pratiques de feux incontrôlées affectant divers domaines de production.

H. La **pratique des feux est connue depuis longtemps** et est largement documentée aussi bien à l'époque de la royauté que pendant et après la colonisation. Les expériences passées ont montré que les initiatives d'éradication et de répression strictes montrent des résultats mitigés par rapport **aux approches de gestion et d'appui technique permanent, principalement auprès des paysans en milieu rural**. Aujourd'hui encore les feux touchent annuellement plus de 3.000.000 ha à l'échelle nationale dont une majeure partie (plus de 90%) s'observe sur des zones de savanes herbeuses/arborées, moins de 5% dans des zones agricoles et un peu plus de 5% dans des zones forestières. L'origine de ces feux est complexe ainsi que leur gestion. Elle doit inclure à la fois, l'implication effective de toutes les parties prenantes, la partie prévention à travers des techniques plus adaptées et leurs vulgarisations, la gestion de la lutte active et la gestion post-feux des paysages ravagés.

I. Afin de disposer d'une **réponse cohérente** face à ce fléau national, le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, avec la participation de la majorité des secteurs et des parties prenantes au niveau régional et national, a développé la présente note politique. Elle se base notamment sur :

- une **gouvernance plus partagée de la gestion des feux** à travers un transfert de certaines prérogatives du Ministère vers les structures relais au niveau local par une révision des textes réglementaires et un appui accru à ces structures
- une **amélioration du système d'alerte et de suivi** par une meilleure transmission des données de détection entre les entités nationales, régionales et locales. Dans ce cadre, la Direction Générale de l'Environnement et des Forêts vient de se doter d'une station de réception en temps réel d'images satellites pour pouvoir suivre les points de feux et les surfaces brulées.
- une **intensification de la sensibilisation des communautés locales sur** les conséquences néfastes des feux non contrôlés sur notre patrimoine de production afin de favoriser le changement vers un comportement beaucoup plus responsable, et ceci avec la participation massive des divers secteurs notamment celle des secteurs touchant l'agriculture, l'élevage, la forêt et la décentralisation.
- une **prévention en amont des feux par la mobilisation des agents techniques** de l'Etat pour un **accompagnement permanent** des paysans notamment sur les pratiques agricoles, pastorales et forestières, permettant en particulier une meilleure gestion des pâturages contre les feux de savane. Cet accompagnement consistera notamment en la vulgarisation de paquets techniques de gestion des feux tout en assurant un contrôle strict des autorisations de feux et une répression très rapide des feux non autorisés. De plus, des **mesures d'accompagnement socioéconomiques** seront nécessaires et utiles pour une bonne gestion des systèmes productifs agricoles par des mécanismes incitatifs économiques pour assurer une transition vers des systèmes de gestion plus durables.
- un **renforcement de la lutte active à travers le développement de formations déconcentrées** jusqu'à la base avec le matériel nécessaire et à terme le développement d'une unité de pompiers militaires pouvant répondre aux grands incendies. Au niveau des Aires Protégées, les répressions sont et resteront strictes et sans équivoques.
- une **restauration post-feux des zones dégradées** par la mise en place d'un système de rapportage précis et complet sur les pertes et l'établissement de protocoles de restauration et la compensation de chaque hectare perdue notamment en milieu forestier.

Lignes d'actions sur la gestion des feux à Madagascar

Coordination intersectorielle : vers une gouvernance partagée de la gestion des feux

1. La lutte contre les feux est le **rôle de tous**, et doit être conduite de manière intersectorielle. Afin de prévenir le développement de feux incontrôlables menaçant le capital naturel, les secteurs agricole et forestiers vont travailler en coopération pour intégrer dans leur processus de mise en valeur à tous les niveaux des paquets techniques permettant d'éviter et/ou de gérer les feux dans leurs activités. De plus, leurs représentants vont mener un lobbying clé auprès du Bureau National de Gestion des Risques et Catastrophes Naturels pour la mobilisation de matériels en cas de catastrophes liés aux feux, lesquels doivent être intégrés dans les plans d'intervention.

2. Au-delà de cela, il est clair que la réponse la **plus rapide et réelle** ne peut être apportée que par la **communauté environnante** des départs de feux. Par conséquent, il est nécessaire de **transférer certaines prérogatives**, y compris les suivis et les autorisations locales, aux structures relais, ce qui nécessite une révision des textes réglementaires en vigueur afin d'inclure ces structures et de **définir clairement les rôles et les attributions de chaque entité** intervenant dans la lutte contre le feu (coordination avec le Ministère de l'intérieur et de la décentralisation, Comité national intersectoriel, Comité intersectoriel feux au niveau régional, Comité suivi/évaluation feux au niveau district, Commune, Fokontany, Comité locale de lutte contre les feux). **Une répression stricte des feux dans les Aires Protégées et des feux non autorisés sera menée.**

Détection des feux : vers un système transparent d'alerte et de suivi

Le développement continu de systèmes d'alerte précoce et d'évaluation du danger d'incendie va être renforcé au niveau du service feux et de l'ensemble des DREDD/DIREDD. En effet, le service feux de la DGEF vient de se doter de station de réception en temps réel d'image satellite avec le soutien du projet « Monitoring for Environment and Security in Africa » (MESA- SADC-Agricultural and Environmental Resource management) pour pouvoir suivre les points de feux et les surfaces brulées par l'exploitation des images MODIS de la NASA. Leurs **capacités d'exploitation vont être renforcées afin de permettre une transmission rapide** vers les DREDD/DIREDD et vers l'ensemble de structures relais afin de répondre le plus vite possible aux apparitions de feux, plus particulièrement les feux de forêt.

3. Au fur et à mesure que l'expertise de l'exploitation et de la transmission de ces données se développe, des versions plus sophistiquées **tenant compte des occupations des sols et** des résolutions plus fines des types de forêts et des zones climatiques particulières seront encouragées afin de répondre de plus en plus aux besoins de détection des acteurs responsables de la réponse au niveau local. En outre, la télédétection par satellite doit constituer un élément indispensable de la détection des feux dans un pays vaste comme Madagascar. En effet, le **rapportage et la transmission vont se faire de manière systématique et périodique,** pour toutes les Régions (pour chaque mois de l'année).

4. **Une base de données nationale sur les informations relatives aux feux va être créée**, incorporant les données communiquées sur le terrain (informations sur les pares-feux, les incendies contrôlés, les moyens de lutte contre les incendies et leurs emplacements, …) jouant un rôle déterminant dans l'évaluation des tendances à long terme dans les Régions et dans la planification de la prévention et de la lutte contre les feux. La création d'une telle base de données inclurait la mise en place d'un mécanisme permettant d'assurer la qualité des données et le recoupement des chiffres communiqués par le personnel de terrain local. Les agents de terrain dans les DREDD/DIREDD pourront également avoir accès à la base de données.

Prévention en amont des feux : développer des pratiques innovantes de mises en valeur

5. L'analyse historique des réponses aux feux a montré que l'exclusion totale des feux ne peut pas être réaliste. Comme indiqué ci-dessus, il existe une tension fondamentale entre l'interdiction totale des feux en vertu de la législation et la réalité sur le terrain où le feu continue à être utilisé comme outil de « gestion du paysage » par les communautés à travers le pays. Une politique plus efficace de gestion intégrée des feux commencera par la reconnaissance du fait que les gens continueront à utiliser le feu, et que l'objectif du MEDD est de **contrôler les autorisations de feux** (qui est d'ailleurs sa juridiction) avec plus de moyens humains en **intégrant les structures relais** et de minimiser les impacts écologiques, sociaux et économiques du feu en réprimant les feux dans les Aires Protégées et les feux non autorisés.

6. Ces autorisations ne peuvent cependant pas se faire sans un accompagnement permanent et strict des communautés avec des appuis sur le mode de gestion des feux et la formation sur

des **paquets techniques de gestion des feux.** Beaucoup d'expériences au niveau national et international font référence à ces systèmes et seront diffusées en passant par des mesures incitatives pour les « Communes sans feux ». Ces processus vont aussi être soutenus par des sensibilisations permanentes sous forme de courts métrages, de bannières, de brochures et de supports pour les écoliers.

7. Par rapport à la nature des feux actuels et pour répondre aux besoins de plus en plus accrus de **développement du secteur agricole,** un accent particulier va être porté sur les techniques agricoles améliorées et de gestion des pâturages avec des **semences (notamment fourragères) qui résistent aux feux,** une meilleure gestion des feux tardifs et des feux de printanisation et une meilleure valorisation et sécurisation des terrains **pour des pares-feux agricoles**. En effet, les communautés locales reconnaissent aujourd'hui clairement l'efficacité des pares-feux et des feux précoces contre-feux mais la difficulté réside clairement sur la mobilisation financière et humaine pour réaliser ces activités d'élimination des charges combustibles. La seule solution durable de financement se repose sur de pares-feux valorisables pour l'agriculture et/ou l'élevage afin que ces zones soient productives, maintiennent une certaine humidité et sont systématiquement labourées. Ces techniques vont être développées conjointement par les DREDD/DIREDD avec les DRAEP spécifiquement pour chaque Région.

Elimination des feux : Renforcer la capacité pour la lutte active

8. Le renforcement de la lutte active ne peut se faire dans les conditions actuelles de terrain qu'avec des unités de réponses aux feux basées au niveau de chaque fokontany, surtout des zones rouges (unités de réponses communautaires). En outre, cette forme de lutte contre les incendies repose largement sur des techniques de lutte contre les incendies « à sec ». Les techniques sèches consistent à éteindre le feu directement avec des outils à main pour étouffer les flammes (pour les feux de très faible intensité) ou en séparant le combustible avant le feu actif, soit par des ruptures naturelles du combustible. Le besoin principal est toujours de disposer sur le terrain **d'un personnel compétent, formé et équipé, prêt à réagir et à prendre des mesures immédiates.** Une formation va être dispensée aux agents de terrain, aux surveillants des incendies saisonniers et aux volontaires communautaires impliqués dans la lutte contre les incendies. Tous ces agents doivent comprendre les principes de base du

comportement des incendies pour adopter la technique de suppression les plus efficaces à leur disposition et savoir quand un retrait est nécessaire.

9. Un **système de formation de formateurs déconcentré** (niveau DREDD et DIREDD) et décentralisé (Région et Commune), basé sur les connaissances et expertises de ces entités avec les pompiers régionaux et nationaux sera développé. Au niveau central, un programme de formation moderne et normalisé va être mis au point par le service en charge des feux afin de définir des normes de formation applicables dans tous les fokontany des zones rouges du pays et de veiller que tous ces fokontany sont touchés avec les entités régionales.

10. Ces **renforcements de capacités seront soutenus par la fourniture d'outils** à main, des équipements de campement et de vêtements de protection. Enfin, des **manuels de procédures opérationnelles permanentes** (*SOP, Standard Operating procedure*) vont être développés pour les unités de réponses aux feux au niveau fokontany avec une adaptation aux conditions locales de chaque Région. Ces manuels vont être établis par les DREDD et DIREDD en concertation avec les services de pompiers régionaux.

Gestion post-feux forestiers : vers une restauration systématique des paysages forestiers dégradés

11. Les **rapports post-feux forestiers** ne présentent généralement pas d'éléments détaillés des impacts écologiques et uniformes au niveau des DIREDD/DREDD. Ceci est généralement lié à un manque de protocoles de compte rendu standard. Ces protocoles de compte-rendu standard seront développés afin de disposer de **données précises et complètes sur les pertes écologiques potentielles** et les efforts de restaurations nécessaires. Ces rapports de terrain vont être vérifiés avec le GPS et des images de surfaces brûlées obtenues par télédétection.

12. Pour honorer ses engagements de restauration de paysages forestiers, le pays va restaurer également **les forêts brûlées et** l'établissement de **protocoles pour les activités de restauration après feux va être réalisé afin de normaliser les méthodes de restauration,** au moins pour chaque type d'écorégion de Madagascar. L'identification des zones gravement touchées nécessitant des travaux de restauration et de réhabilitation va être intégrée aux Plans d'Aménagements et de Gestion de chaque forêt concernée.

Annexe 13 : Questionnaire pour les enquêtes des ménages

Questionnaire final sur l'économie de la gestion durable et de la dégradation des terres et sur l'identification des types et des profils des sols

Nom de l'enquêteur :

Notice : ce questionnaire est présenté sous forme de tableau pour faciliter sa complétion lors des travaux de terrain. Il est opportun de mentionner de le lire de haut en bas et de gauche vers la droite et de poser les questions de manières successives. En cas de difficulté, bien lire les numéros de questions et les numéros de pages. Pour vous facilitez la tache imprimez ce questionnaire et reliez la (ne pas dupliquez cette première page)

Le formulaire sur l'identification des sols est indépendante du questionnaire et est annexée au protocole d'identification

Numéro du questionnaire			
District		Commune	
Fokontany		Village	
Coordonnées GPS		Occupation du sol	
Toposéquence		Type de sol	

Information general du foyer

1. Nom de famille		2. Genre	
3. Relation avec le chef de ménage ?		4. Genre du chef de ménage	❑ Homme ❑ Femme
5. Age du chef de ménage ?		6. Le chef de ménage a t'il grandi dans cette commune	❑ Oui ❑ Non
7. Votre état matrimonial ?	❑ Marié(e) ❑ Veuf(ve) ❑ Divorcé(e) ❑ Concubinage ❑ Jamais marié(e)	8. Nombre de personnes dans le ménage	
9. Votre niveau d'éducation le plus haut ?	❑ Pas d'éducation ❑ Primaire ❑ Secondaire ❑ Etude sup.	10. Le plus haut degré de scolarisation atteint par r le chef de ménage (si différent du répondant) ?	❑ Pas d'éducation ❑ Primaire ❑ Secondaire ❑ Etude sup.
11. Votre ferme fait-elle partie d'une coopérative ?	❑ Oui ❑ Non	Si oui laquelle ?	
		Si non voulez-vous en rejoindre une ?	❑ Oui ❑ Non
		Si non, pourquoi n'avez-vous pas rejoins une coopérative ?	❑ Je ne connais aucune coopérative à proximité ❑ Je n'en vois pas l'intérêt
12. Faites-vous parti d'une association villageoise ?	❑ Oui ❑ Non	Le chef de ménage a t'il reçut une formation en agriculture ?	❑ Oui ❑ Non
13. Le chef de ménage a-t-il grandit dans une famille d'agriculteur ?	❑ Oui ❑ Non		

Activités agricoles et propriété foncier

14. Avez-vous toujours vécu sur cette commune ?	❑ Oui (locaux) ❑ Non (migrants)	Si non de quelle région/commune/fokontany êtes-vous ? Depuis quand êtes-vous arrivé sur ce lieu ?	
15. Depuis combien de temps le chef de ménage a-t-il commencé son exploitation ?	❑ 0-5 ans ❑ 6-10 ans ❑ 11-15 ans ❑ 16-20 ans ❑ >20 ans	16. Quel est le type de propriété quant à l'exploitation ?	❑ Propriétaire ❑ Locataire ❑ Métayage ❑ Fermage ❑ Héritage ❑ Sans titre de propriété ❑ Par défrichage
17. Les terres que vous utilisez pour vos revenus agricoles sont-elles enregistrées ?	❑ Oui ❑ Non	Si oui, auprès de quelle entité sont-elles enregistrées ?	❑ L'état ❑ Le chef de village ❑ La municipalité ❑ Autre

		Si non, pourquoi ne sont-elles pas enregistrées	❑ Je n'ai les moyens de payer des frais d'enregistrement foncier ❑ Les démarches administratives sont trop contraignantes ❑ Autres :
18. Nombre d'hectares de terrain exploité du ménage (inclus les terres louées) ?		Nombre d'hectares de terres que possède le ménage (si différent de l'usage)	
19. Votre parcelle fait-elle partie d'un projet de gestion durable ou de restauration ?		Si oui quel projet de développement en particulier ?	
20. Quel est le revenu brut annuel du ménage (MGA) ?	Entre : _____ Ar Et : _____ Ar		
21. Le chef de ménage bénéficie-t-il d'autres revenus en dehors des revenus agricoles ?	❑ Oui ❑ Non	Expliquez (si transferts internationaux, salariat agricole (travail sur d'autres exploitations, salariat commercial ou salariat administratif)	
22. Combien de personnes du ménage (en dehors du chef de ménage) ont d'autres revenus différents aux revenus agricoles ?		23. Quels sont vos dépenses courantes au cours de cette dernière année ? Combien (ou en %)	❑ Santé/Combien ? _____ ❑ Alimentation/Combien ? _____ ❑ Education/ Combien ? _____ ❑ Transport/ Combien ? _____ ❑ Habillement/Combien ? _____
24. Au cours de la dernière année, votre production agricole a-t-elle été affecté par un aléa climatique la dernière année ?	❑ Oui ❑ Non	Si oui, pouvez-vous estimer le coût des pertes de production ? (Précisez l'unité)	❑ Inondations _____ Ar ❑ Sècheresse _____ Ar ❑ Feux de brousse _____ Ar ❑ Espèces invasives _____ Ar ❑ Autres _____ Ar
25. Avez-vous accès à un point d'eau pour l'irrigation ?	❑ Oui ❑ Non	Si oui le point d'eau se trouve-t-il sur votre parcelle ?	❑ Oui ❑ Non
		Si non, à quelle distance de votre parcelle se trouve-t-il ?	❑ ½ journée de marche ❑ 1 journée de marche ❑ 2 jours de marche ❑ Plus de 2 jours de marche : (précisez) _____ Jours

26. Nombre de parcelles		27. Superficie consacré à E	

Informations concernant l'élevage réalisé L'ANNEE DERNIERE						
Type animal	Nombre total d'animaux que votre ménage possède	Animaux abattus pour usage personnel sur une année	Animaux vendus sur une année	Animaux nouveaux achetés dans le troupeau sur une année	Cycle /période de vente	Prix unitaire de l'animal
	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :		Male : Femelle :
	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :		Male : Femelle :
	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :		Male : Femelle :
	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :		Male : Femelle :

Autres produits issues des animaux	Unité	Quantité de production	Quantité consommée par le ménage	Vendu	Prix par unité
Laits					
Œufs					

Informations concernant l'élevage réalisé sur L'ANNEE EN COURS :						
Type animal	Nombre total d'animaux que votre ménage possède	Animaux abattus pour usage personnel sur une année	Animaux vendus sur une année	Animaux nouveaux achetés dans le troupeau sur une année	Cycle /période de vente	Prix unitaire de l'animal
	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :		Male : Femelle :
	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :		Male : Femelle :
	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :		Male : Femelle :
	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :	Male : Femelle :		Male : Femelle :

Autres produits issues des animaux	Unité	Quantité de production	Quantité consommée par le ménage	Vendu	Prix par unité
Laits					
Œufs					

Quantité et valeurs des investissements destinées à la production de bétails durant LA DERNIERE L'ANNEE			
ETABLISSEMENTS DE LA DERNIERE ANNEE			
Coûts d'établissement	Unité (jour, ha, kg, m^3,etc)	Cout unitaire	Quantité
Achat de bétail			
Hangar, corral, équipement/ parcage			
Ensemencement en pâturage			
Clôtures			
Réservoirs/Structures de récupération d'eau			
Autres			

COUTS DE PRODUCTION DE LA DERNIERE ANNEE						
Couts de production	Unité (jour, ha, kg, m^3etc)	Couts par unité	Quantité			
			Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Fourrage / Nourriture						
Main d'œuvre embauchée (jours)						
Médicaments vétérinaires						
Entretien des granges, des enclos, etc						
Achat d'eau pour le bétails						
Frais de pâturage						
Transport au marché						
Autres couts						

28. Avez-vous réalisé ou prévoyez-vous de réaliser un des investissements (cités précédemment) **CETTE ANNEE** ?	❑ Oui ❑ Non	Si oui, lesquelles ?	

COUTS DE PRODUCTION DE CETTE ANNEE						
Couts de production	Unité (jour, ha, kg, m^3etc)	Couts par unité	Quantité			
			Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Fourrage / Nourriture						
Main d'œuvre embauchée (jours)						
Médicaments vétérinaires						
Entretien des granges, des enclos, etc						
Achat d'eau pour le bétails						
Frais de pâturage						
Transport au marché						
Autres couts						

29. Quelle est votre culture principale		30. Nombre de parcelles consacrées à l'agriculture ?	
31. Superficie totale consacrée à l'agriculture			

Production du ménage à travers la production cultivée l'ANNEE DERNIERE/AU DERNIER CYCLE CULTURAL

Type	**SI** intercalé avec d'autres cultures, Avec quoi ?	Unité (kg/sac)	Quantité récoltée	Quantité vendue	Quantité pour usage personnelle	Prix	Récolte en mois	Usage pour le pâturage ?	Quantité équivalente en fourrage	Remarques importantes ?

Intrants dans les principales cultures agricoles

Intrants	Unité	Quantité consommée	Prix
Location de terre			
Graines/semences/jeunes plants :			
Cultures 1 :			
Cultures 2 :			
Cultures 3 :			
Cultures 4 :			
Cultures 5 :			
Cultures 6 :			
Cultures 7 :			
Eau pour irrigation			
Engrais			
Pesticides			
Fumier et paillis animal			
Salariés			
Machines			

CX

Transport/ marketing										
Autres										
Production du ménage à travers la production cultivée CETTE ANNEE										
Type	**SI** intercalé avec d'autres cultures, Avec quoi ?	Unité (kg/sac)	Quantité récoltée	Quantité vendue	Quantité pour usage personnelle	Prix	Récolte en mois	Usage pour le paturage ?	Quantité équivalente en fourrage	Remarques importantes ?

Intrants dans les principales cultures agricoles			
Intrants	Unité	Quantité consommée	Prix
Location de terre			
Graines/semences/jeunes plants :			
Cultures 1 :			
Cultures 2 :			
Cultures 3 :			
Cultures 4 :			
Cultures 5 :			
Cultures 6 :			
Cultures 7 :			
Eau pour irrigation			
Engrais			
Pesticides			
Fumier et paillis animal			
Salariés			
Machines			
Transport/ marketing			
Autres			

Suivi sur la gestion de la fertilité des sols, sur la quantité de biomasse et le COS

32. Quelle est votre perception de la qualité du sol sur vos terres où votre culture principale est cultivée ?	❑ Très fertile ❑ Moyennement fertile ❑ Peu fertile ❑ Pas fertile	Si vos sols sont très fertiles ou moyennement fertiles, que pratiquez-vous ?	❑ Rotations culturales ❑ Haies d'arbres ❑ Brulis ❑ Jachère ❑ Paillage ❑ Engrais ❑ Effet de la nature ❑ IDK ❑ Autres :
		Si vos sols sont peu fertiles ou pas fertiles, pourquoi ?	❑ Manque de haies d'arbres ❑ Brulis ❑ Pas de mise en jachère ❑ Monoculture ❑ Effet de la nature ❑ Le temps ❑ IDK ❑ Autres :
33. Votre ménage a-t-il pris des mesures pour la conservation de l'eau, du sol ou réduire l'érosion ?	❑ Oui ❑ Non	Si oui, quelles genres de mesures	❑ Aucune ❑ Agroforesterie ❑ Micro captage ❑ Digues ❑ Jachère ❑ Mur de roche bas ❑ Rotation de culture ❑ Irrigation goutte à goutte ❑ Travail de conservation du sol ❑ Autres :
34.		Si non, quelles sont, selon vous, les contraintes les plus immédiates pour entreprendre des mesures de préservation / amelioration des sols	❑ Manque de connaissance ❑ Manque de financement ❑ Manque de temps ❑ Autres :
35. Une formation vous serez-t-elle utile pour développer votre production ?	❑ Oui ❑ Non	36. Quel genre de formation	
37. La quantité de rendement de votre parcelle a-t-elle augmentée sur les dix dernières années ? Ou la quantité de biomasse	❑ Non, une diminution ❑ Stabilité de rendement ❑ Un peu d'augmentation ❑ Beaucoup	[redacted]	
38. Cette terre a-t-elle subit des changements en termes d'occupation ou de couverture du sol ?	❑ Oui ❑ Non	Si oui quel genre de transition ? Date si connue ? Quels sont les principales causes de cette transition ?	

Gestion des résidus de cultures et feux de brousse

39. Selon vous, pour quelles raisons l'utilisation du feu dans vos parcelles est-elle bénéfique pour votre activités agricoles et/ou pâturage ?	❑ Bon pour lutter contre les parasites ❑ Bon pour la fertilité du sol ❑ Bon pour étendre ses surfaces agricoles ❑ Je ne sais pas ❑ Autre _____ (précisez)	40. Brulez-vous les résidus de récoltes après la récolte ?	❑ Oui, chaque année ❑ A l'occasion tous les fois par an ❑ Je ne brule plus les résidus de récolte ❑ Je n'ai jamais brulé les résidus de récoltes
41. Selon vous, pour quelles raisons brûlez-vous les résidus de récolte ?	❑ Bon pour lutter contre les parasites ❑ Bon pour la fertilité du sol ❑ Mauvais pour la fertilité du sol ❑ Pas d'impact sur le sol ❑ Je ne sais pas ❑ Autre _____ (précisez)	42. Quel sont selon vous le principal problème environnemental de la région ?	❑ Surpâturage et pâturage libre ❑ Deux de foret ❑ Sècheresse et pénurie d'eau ❑ Pollution plastique et déchets ❑ Erosion des sols ❑ Pollution des pesticides et herbicides ❑ Aucun arbres/déforestation ❑ Autres :
43. Selon vous, le défrichement par brulis est-il un moyen de garantir les droits de propriété ?	❑ Oui ❑ Non ❑ IDK	44. Etes-vous impacté par les feux des autres sites ?	❑ Oui, chaque année ❑ A l'occasion tous les fois par an ❑ Non ❑ Je ne veux pas répondre
48. Adhérez-vous aux déclarations suivantes ?	❑ La culture sur brulis devrait être interdite ❑ La culture sur brulis devrait être interdite ❑ La culture sur brulis devrait être règlementée ❑ IDK	49. Narratifs sur la culture sur brulis dans votre fokontany. Qui sont les utilisateurs de cette pratique selon vous ?	
Pratique de la culture sur brulis			
50. A quelle fréquence pratiquez-vous la culture sur brulis ?	❑ 1 fois par an ❑ 2 fois par an ❑ 3 ou sup fois par an ❑ Jamais par an	54. A quelle période pratiquez-vous la culture sur brulis	
55. Cette pratique vous permet-elle de réduire vos coûts ?	❑ Oui ❑ Non ❑ IDK		
56. Si oui, lesquels ? (Plusieurs réponses possibles) Quelle est l'estimation de vos réductions des coûts par hectare ?	❑ Main d'œuvre	Estimation à l'hectare	
	❑ Temps	Estimation à l'hectare	
	❑ Intrants	Estimation à l'hectare	
	❑ Machines	Estimation à l'hectare	
	❑ Autres :	Estimation à l'hectare	
57. Seriez-vous prêts à réduire l'utilisation de la technique de culture sur brulis ?	❑ Oui ❑ Non	58. Seriez-vous prêt à arrêter totalement l'utilisation de la technique de culture sur brûlis?	❑ Oui ❑ Non
59. Souhaiteriez-vous une contrepartie pour	❑ Oui ❑ Non	60. Si oui quel genre de contrepartie?	

arrêter la pratique de la culture sur brulis ?			
Ne pratique plus la culture sur brulis			
61. Quand avez-vous pratiqué la CsB pour la dernière fois ?	Mois : Année :	62. Pourquoi avez-vous arrêté cette pratique?	❑ J'ai trouvé des alternatives préférables pour mon exploitation ❑ Je suis conscient des dommages environnementaux et je souhaite préserver l'environnement ❑ On me l'a interdit ❑ Autres :
63. Avez-vous remarqué un changement de productivité des sols sur vos terres suite à l'arrêt du feu ?	❑ Oui ❑ Non	64. Quels sont les conséquences de l'arrêt du feu de brousse ?	❑ Perte de temps ❑ Gain de temps ❑ Réduction des coûts ❑ Augmentation des coûts ❑ Augmentation de la productivité ❑ Baisse de la productivité ❑ Augmentation des revenus agricoles ❑ Baisse des revenus agricoles ❑ Autres : précisez
65. Par quel(s) type(s) de pratique(s) agricole(s) avez-vous remplacé la culture sur brûlis ?		66. Quel(s) coût(s) sont associés à cette(ces) pratique(s) ? (Précisez l'unité : kg, tonnes, ha, jours,etc.)	

Gestion du risque et retour sur le questionnaire

67. Selon vous, quel est le risque le plus important auquel vous devez faire face sur votre exploitation ?	❑ Risque climatique ❑ Risque de prix ou de marché lié aux fluctuations des prix (produits finis et intrants) ❑ Risque institutionnel généré par les changements de politique ou de régulation ❑ Risque financier lié aux variations des taux d'intérêt et taux de change, risque de non-paiement et risque de liquidité ❑ Risque humain (maladie, décès) et professionnels (vols, dégradation, destruction des outils de production) ❑ Autre : _____(Précisez)	68. Quelle méthode utilisez-vous pour gérer les risques associés à vos activités agricoles ?	❑ Je dispose d'épargne afin d'absorber de mauvais résultats économiques annuels ❑ Je diversifie les sources potentielles de revenus (plusieurs types d'activités agricoles qui permettent une compensation de pertes et de bénéfices) ❑ Je choisis de payer pour une assurance ❑ Je pratique (ou je fais appel) au fihavanana (système d'aide et de solidarité) ❑ Autre : _____ (Précisez)
69. Avez-vous des questions que vous voudriez nous poser ou des observations que vous voudriez nous communiquer?		70. Quelle est la fiabilité des informations généralement fournies par ce ménage?	❑ Médiocre ❑ Raisonnablement fiable ❑ Fiable

Description du profil pédologique

Numéro du profil	Coordonnée GPS	
Toposéquence	Occupation sol	

1. **DIFFERENTS PROFILS ET LEUR PROFONDEUR** (EX : A 0 – 10, B 10 – 20, C 20 – 60)

1
2
3
4
5
6

A : partie supérieure et présentant l'un ou l'autre des caractères suivants : présence de matière organique et appauvrissement en argile, fer, alumine
AB : horizon de transition entre A et B
B : horizon situé en dessous de A et caractérisé par des teneurs en argile, fer, aluminium parfois humus, plus élevés en A
BC : horizon de transition de B vers l'horizon C
C : horizon minéral, autre que la roche dure, placé sous B ou sous A s'il n'y a pas de B, riche en minéraux.
R : Roche mère

2. **TRANSITION D'UN NIVEAU A UN AUTRE**

1 à 2 :	1. **Passage brutal :** zone de transition à moins de 2cm d'épaisseur
2 à 3 :	2. **Passage net :** 2 à 5 cm d'épaisseur
3 à 4 :	3. **Passage graduel :** 5 à 15 cm d'épaissseur
4 à 5 :	4. **Passage progressif** : plus de 15 cm d'épaissseur
5 à 6 :	

3. **COULEUR DE L'HORIZON (NOIR, BLANC, JAUNE, ROUGE, JAUNE ROUGE, BRUN, GRIS)**

1
2
3
4
5
6

1. Noir
2. Blanc
3. Jaune
4. Rouge
5. Jaune Rouge
6. Brun 7.Gris 8.Autre : à définir

4. **TEXTURE**

1
2
3
4
5
6

5. **PRESENCE D'ELEMENT GROSSIER DE PLUS DE 2 MM DE DIAMETRE** : ☐ oui ☐ non

Si oui, (type et abondance. Ex : 1b, 2c…)

1
2
3
4
5
6

1. 2 à 75mm: graviers
2. 7,5 à 20cm: cailloux
3. supérieur à 20cm: pierres

Quantité de graviers	a. Pas graveleux	b. Peu graveleux	c. Graveleux	d. Très graveleux	e. Graviers dominants
Quantité de cailloux	a. Pas caillouteux	b. Peu caillouteux	c. Caillouteux	d. Très caillouteux	e. Cailloux dominants
Quantité pierre	a. Pas pierreux	b. Peu pierreux	c. Pierreux	d. Très pierreux	e. Pierres dominantes
%	1%	2 à 15%	15 à 50%	50 à 90%	90%

6. STRUCTURE ET TAILLE

1
2
3
4
5
6

1. Particulaire
2. Massive ou continue
3. Grumuleuse
4. Prismatique
5. Polyédrique
6. Cubique
7. Lamellaire

- **De 0 à 10 cm**

Numéro de code	Classes	Dimensions des éléments structuraux
□ 1	Très finement granulaire (grumeleuse)	< 1 mm
□ 2	Finement polyédrique	1-2 mm
□ 3	Polyédrique moyen à grossier	2-10 mm
□ 4	Colonne, lamellaire, massive, prismatique, cubique	> 10 mm

7. COHESION DES AGREGATS

- ADHESIVITE : on malaxe le sol entre 2 doigts :

1
2
3
4
5
6

1. **non collant** lorsque le sol ne colle pas aux doigts
2. **légèrement collant** lorsque le sol colle sur certains doigts et se détache des autres
3. **collant** lorsque le sol colle sur tous les doigts et la terre se rompt
4. **Très collant** lorsque le sol colle fortement sur tous les doigts et se rompt facilement

- PLASTICITE : on essaie de former un bâtonnet puis avec ce bâtonnet un cercle

1
2
3
4
5
6

1. **n'est pas plastique** si on ne peut pas former un bâtonnet
2. **légèrement plastique** si on peut former un bâtonnet mais le cercle se brise
3. **plastique** si on peut former un bâtonnet et un cercle qui est fendillé
4. **très plastique** si on peut former un bâtonnet et un cercle parfait.

- FRIABILITE

1
2
3
4
5
6

1. **meuble :** formé de particules susceptibles de se déplacer les unes par rapport aux autres.
2. **friable** : se désagrège sous une très faible pression
3. **ferme** : se désagrège sous une pression modérée des doigts
4. **très ferme :** se désagrège sous une forte pression des doigts
5. **extrêmement ferme :** ne se rompt pas sous la pression des doigts.

- DURETE :

1
2
3

4
5
6

1. **meuble :** les agrégats ou les particules ne sont pas liés entre eux
2. **tendre :** se désagrège en poussière sous une très faible pression des doigts
3. **légèrement dur:** se rompt sous une pression modérée des doigts
4. **dur :** se rompt difficilement sous les doigts mais facilement dans la main
5. **très dur** : se rompt uniquement avec les mains
6. **extrêmement dur** : ne se rompt pas avec les main

8. POROSITE

- FORME DES PORES

1
2
3
4
5
6

1. **Vésiculaires :** cavités sphériques ou ellipsoïdales.
2. **Tubulaires** sont des cavités (section grossièrement circulaire). Souvent ce sont des restes d'anciennes racines.
3. **intertitiaux** forment les vides entre les faces des agrégats anguleux. Ce sont des fissures

9. MATIERES ORGANIQUES

1
2
3
4
5
6

1. Très organique : 20 à 30% de MO
2. Moyennement organique : 6 à 20% de MO
3. Faiblement organique : moins de 6% de MO

10. ENRACINEMENT : ABONDANCE ET TAILLE (EX : 1C ; 1B; 2A)

1
2
3
4
5
6

- ABONDANCE :

1. absence des racines
2. peu de racines (moins de 10 racines par 3 dm)
3. de nombreuses racines (de 10 à 100 racines par dm)
4. de très nombreuse racines (plus de 100 pour 3 dm).

- TAILLE

a. mince si le diamètre est inférieur à 2mm
b. moyenne si le diamètre est compris entre 2 et 10mm
c. grosse si le diamètre est compris entre 10 et 30mm
d. très grosse si le diamètre est supérieur à 30cm.

Mesure PERMEABILITE

	Temps cumulé	Temps par dosette
Dose 1		
Dose 2		
Dose 3		
Dose 4		
Dose 5		
Dose 6		
Dose 7		
Dose 8		
Dose 9		
Dose 10		