

2020-2021

Master 1 Géographie, Aménagement, Environnement et Développement
Parcours Paysage, Environnement, Participation et Société

Evaluation des dynamiques des paysages dans le complexe des aires protégées de Pô-Nazinga-Sissili au Burkina-Faso

Analyse spatiale du territoire



Adrien Coquereau |

Sous la direction de |
M. Clovis Grinand (Nitidæ) et
M. Sébastien Caillault (UA)

L'auteur du présent document vous autorise à le partager, reproduire, distribuer et communiquer selon les conditions suivantes :



- Vous devez le citer en l'attribuant de la manière indiquée par l'auteur (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'il approuve votre utilisation de l'œuvre).
- Vous n'avez pas le droit d'utiliser ce document à des fins commerciales.
- Vous n'avez pas le droit de le modifier, de le transformer ou de l'adapter.

Consulter la licence creative commons complète en français :
<http://creativecommons.org/licences/by-nc-nd/2.0/fr/>

Ces conditions d'utilisation (attribution, pas d'utilisation commerciale, pas de modification) sont symbolisées par les icônes positionnées en pied de page.



REMERCIEMENTS

Je remercie l'ensemble de l'équipe de Nitidae pour leur accueil au sein de l'association, pour m'avoir permis de réaliser ce projet et pour m'avoir soutenu lors des différentes étapes de ce travail.

Merci à Clovis Grinand qui a été mon maître de stage au sein de Nitidae et qui m'a accompagné tout au long de ce travail, qui a pris le temps de me former et de m'introduire aux techniques de télédétections.

Je tiens également à remercier Frédérique Monfort pour sa précieuse aide et le soutien qu'elle m'a apporté durant toute la durée du stage.

Je remercie Elsa Sanial et Loïc Simonnot qui ont répondu à mes questions et m'ont aidé à construire et orienter mon sujet d'étude.

Merci également à mon tuteur académique M. Sébastien Caillault qui a su m'aiguiller pour aborder ce travail.

Enfin, merci à Pauline Jitten et Léo Godard, mes autres collègues durant cette période, qui ont été pour moi une source de motivation supplémentaire.

Table des matières

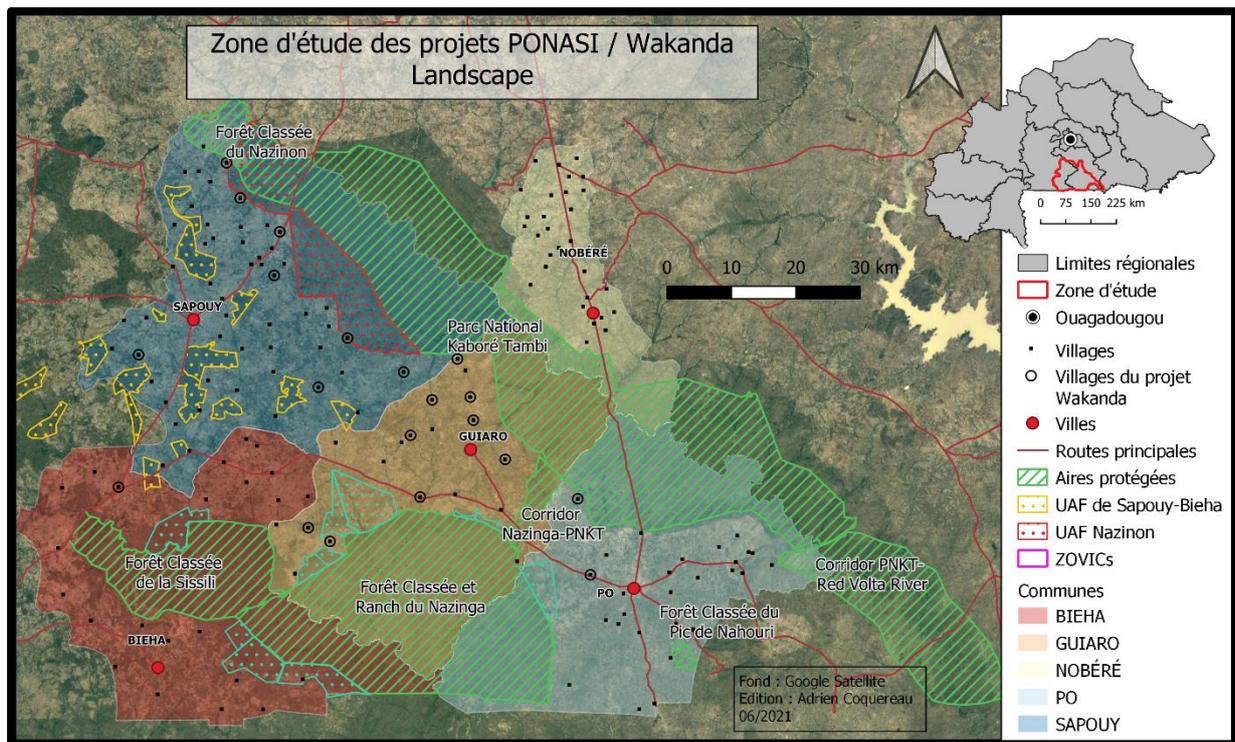
INTRODUCTION	6
1. Contexte	6
2. Objectifs	7
3. Problématique	8
MATERIEL ET METHODES	8
1. Présentation de la zone d'étude	8
1.1. Localisation	8
1.2. Contexte climatique	9
1.3. Contexte agricole et historique de la zone d'étude.....	9
1.4. Les différents statuts des aires protégées	10
2. Identification des facteurs de changement dans paysage	11
2.1. Analyse des facteurs	11
2.2. Le feu comme facteur important de compréhension du paysage	13
2.3. Indicateurs qui vont être utilisés.....	14
3. Acquisition des données	15
3.1. Collecte des images satellites	15
3.2. Indicateurs spatialisés	15
4. Méthode de cartographie d'occupation du sol et changements d'occupations du sol	16
4.1. Elaboration d'une typologie	16
4.2. Méthode de classification	17
5. Méthode d'analyse des changements de productivité végétale	18
6. Méthode de cartographie de l'évolution des feux	19
7. Analyse statistique et croisée des indicateurs	20
RESULTATS :	20
1. Cartographie d'occupation du sol et carte de changements	20
1.1. Carte d'occupation du sol 2020 :	21
1.2. Statistiques zonales d'occupation du sol en 2020	22
2. Analyse des changements de productivité végétale	25
2.1. Changements de productivité de la végétation	25
2.2. Identification des facteurs de changement.....	26
3. Résultat du traitement des données sur les feux	31
3.1. Evolution des surfaces brûlées entre 2000 et 2020.....	31
3.2. Fréquence des feux :.....	33
3.3. Dynamique d'évolution des fréquences de feux entre les périodes 2000 à 2010 et 2010 à 2020.	35
4. Croisement de la productivité végétale avec l'évolution des feux	36
INTERPRETATION ET DISCUSSION :	38
1. Les dynamiques des Paysages dans le complexe des aires protégées de PONASI....	38
2. Proposition d'analyse du paysage : Etude de cas d'une zone au nord de la commune de Sapouy.	39
3. Limites et perspectives	41
CONCLUSION :	42
ANNEXES :	43
.....	46
BIBLIOGRAPHIE :	47
1. Articles, revues, ouvrages	47
2. Sites :	49
3. Données :	49

LISTE DES ABREVIATIONS :	50
TABLE DES ILLUSTRATIONS :	50
TABLE DES TABLEAUX :	51

Introduction

1. Contexte

Nitidae est une ONG qui mène des projets alliant préservation de l'environnement et renforcement des économies locales. Le projet « Landscape Wakanda¹ PONASI » a pour but d'appuyer la résilience du territoire, réduire la vulnérabilité du complexe d'aires protégées de Pô-Nazinga-Sissili (PONASI) étendues sur cinq communes (Bieha, Guiaro, Nobéré, Pô, Sapouy) et d'accompagner le développement des zones rurales villageoises en améliorant les conditions de vie de ses habitants.



Au Burkina Faso, le complexe des Aires Protégées PONASI est une des dernières grandes zones d'écosystèmes de forêt-savanes préservées du pays et constitue un continuum écologique abritant une grande diversité floristique et faunistique (Tiendrebeogo et al., 2019 ; Rapport BEGE, 2005). Situé au sud du Burkina Faso, il rassemble : le Parc National Kaboré Tambi (PNKT) et ses deux corridors, la forêt classée et le ranch de gibier de Nazinga, la forêt classée de la Sissili ainsi que les Zones villageoises d'intérêt Cynégétique (ZOVIC) avoisinant les terroirs villageois composé de 150 villages dispersés sur cinq

¹ Wakanda : "West African Knowledge for Agriculture, Nature and Development Activities"

communes. La démographie croît rapidement dans la zone d'étude, il s'agit du résultat d'un accroissement du solde naturel mais aussi du solde migratoire avec l'arrivée de populations Mossi et Peulh dans la région (Rullier & Hemingway, 2021 ; Bictogo, 2010). Cette région est soumise à de nombreuses pressions sur les ressources naturelles : la dégradation forestière liée au prélèvement de bois de chauffe et la production de charbon, le surpâturage dans les zones de savanes, des conflits d'usages entre les différentes utilisations des terres (cultures, élevage, faune sauvage...), le braconnage de la faune dans les aires protégées, les feux de brousse non maîtrisés (Devetakov et al., 2021 ; Ouedraogo, 2019). Ces feux de brousses évoluent dans la région depuis quelques années, cependant des connaissances sur leur impact sur la végétation manquent encore (Ballouche, 2019 ; Caillault et al., 2012 ; Devineau et al., 2010 ; Yaméogo, 2005). Le paysage est aussi marqué par une diversification des activités agricoles, des surfaces agroforestières importantes parmi les zones de cultures (karité, anacardier, néré) qui présentent une forte valeur ajoutée pour le développement de la région (Ftaïta et al., 2007), ainsi que la mise en place de corridors écologiques où sont pratiquées des méthodes de régénération naturelle assistée de la végétation (Devetakov et al., 2021 ; Ouedraogo, 2019).

Les actions de Nitidae pour le projet PONASI / Wakanda sont surtout des actions sur le terrain (appui des filières de production, sécurisation et surveillance des aires protégées, organisation et animation d'un cadre de concertation des populations). Pour soutenir et augmenter l'efficacité de ces actions de terrains, plusieurs activités de suivi et d'analyse du territoire ont déjà été réalisées par l'association : un diagnostic des dynamiques territoriales est actuellement en cours et a pour objectif de comprendre les stratégies des agriculteurs et des éleveurs de la région, à l'aide de plusieurs enquêtes de terrain dont une large enquête auprès des ménages des communes de Guiaro, Sapouy et Biéha, une enquête auprès de plusieurs groupes de producteurs et éleveurs des cinq communes ainsi que d'entretiens individuels avec différents acteurs de la zone (Rullier & Hemingway, 2021). Ce document comporte une étude des dynamiques culturelles dans la région et présente également une analyse des différentes filières de production repérées (Karité, Cajou, Anacarde, Sésame, Coton, Igame...).

Ce diagnostic agraire et territorial (Nitidae) permet :

- De préciser les différents statuts des aires protégées.
- D'identifier les ethnies présentes et leurs répartitions.
- De nous renseigner sur les activités agricoles et d'élevage.

2. Objectifs

L'objectif de ce stage pour le projet PONASI / Wakanda est de proposer une analyse spatiale des dynamiques territoriales et des facteurs de changement dans le paysage pour compléter le diagnostic de Nitidae actuellement en cours, en utilisant les données socio-économiques et environnementales spatialisées disponibles et des données issues des connaissances de terrain de Nitidae, avec l'utilisation de différentes techniques de télédétection. Cette analyse des pressions et des facteurs de changements du paysage a pour but d'orienter les interventions sur le territoire. La finalité est de proposer plus largement

une méthode innovante pour l'analyse des paysages à partir des données spatiales disponibles qui soit rapide à produire.

3. Problématique

Afin de répondre à l'objectif qui est de proposer une analyse spatiale des facteurs de changement du paysage, cette étude vise à répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les facteurs susceptibles d'influencer les changements de paysage dans la zone PONASI ?
- Quels sont les facteurs anthropiques qui influent sur la productivité végétale dans la zone d'étude et comment sont-ils répartis ?
- Comment les feux évoluent dans la région et quelle est la relation avec les autres facteurs repérés ?

Matériel et Méthodes

Pour comprendre la répartition des zones de cultures et des zones de savanes dans la zone de projet, la création d'une carte d'occupation du sol est évidente. Pour ensuite comprendre les facteurs de changements du paysage, nous avons choisi d'utiliser les données de changement de productivité végétale et de faire une analyse des feux.

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Localisation

La zone des projets PONASI (figure 1) regroupe cinq communes : les communes de Sapouy et Bieha qui appartiennent à la région du Centre-Ouest, et les communes de Nobéré, Guiaro et Pô rattachées à la région du Centre-Sud. La zone de projet est située à proximité de Ouagadougou (à environ 100km au nord de la zone de projet) et est bordée au sud par la frontière du Ghana. Elle est donc directement située sur l'axe de communication majeur entre la capitale du pays et le Ghana, ce qui sous-entend des échanges de natures diverses (agriculture, commerce, migrations, travail).

1.2. Contexte climatique

Le climat dans la zone de projet est de type soudanien. Ce climat présente une pluviométrie importante variant de 900 mm à 1100 mm en moyenne par an sur la période 2000 à 2020. Il est marqué par une forte saisonnalité, la saison des pluies peut s'étendre sur une période allant jusqu'à 6 mois maximum entre avril et septembre. La température est relativement stable tout le long de l'année et reste entre 25°C et 35°C. La ressource en eau ne manque pas à l'année, mais la forte saisonnalité implique que la gestion de l'eau est importante pour éviter des conflits liés à la disponibilité de cette ressource. La saisonnalité importante des pluies nécessite que la période de semis des cultures prend place aux alentours des mois de juin et juillet et la période de récolte vers les mois d'octobre et novembre (Rullier & Hemingway, 2021 ; calendrier cultural FAO).

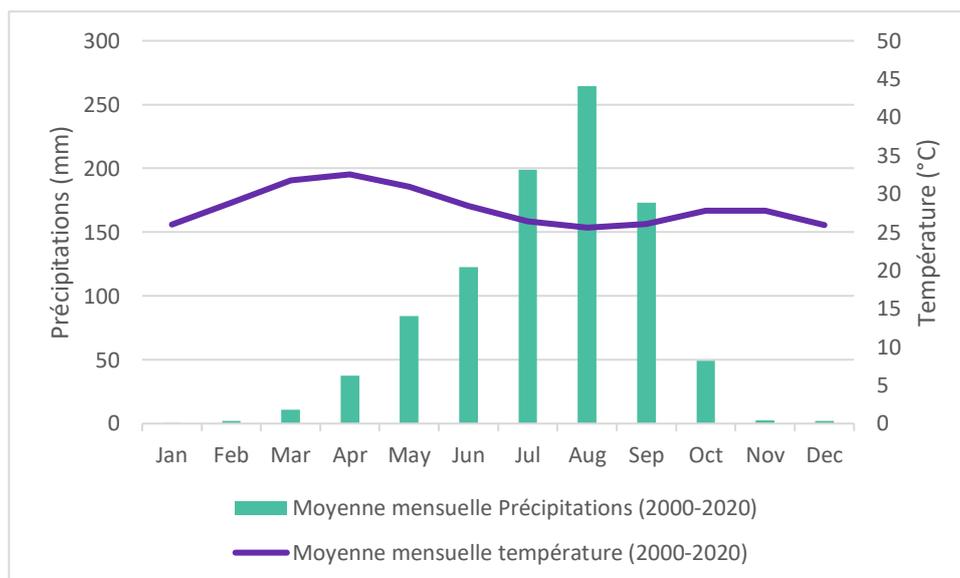


Figure 2 : Diagramme ombrothermique des moyennes mensuelles climatiques sur la zone d'étude dans la période 2000 et 2020 (Sources des données : CHIRPS / ECMWF)

1.3. Contexte agricole et historique de la zone d'étude

Le contexte historique agricole est marqué par la cohabitation de modèles agricoles dominants : Le modèle de **rotation culture jachères**, qui consiste à alterner des périodes de culture et de repousse spontanée de la végétation (appelée ici période de jachère). Les agriculteurs mettent le feu aux jachères anciennes pour un retour de la jachère au stade de culture. Les champs cultivés de l'année précédente sont laissés au repos (jachères jeunes). Ce cycle peut s'étendre sur une durée de 10 à 15 ans environ. Dans ce travail, le terme « jachère » sera employé pour désigner un retour à la culture et le terme « jachère

abandonnée » comme un retour aux systèmes de savanes. (Caillault et al., 2012 ; Serpantié & Devineau, 1993).

Le modèle **intensif** de culture s’oppose au système de rotation des jachères puisque les parcelles sont constamment exploitées, sans temps de repos, jusqu’à l’épuisement. Ce modèle repose sur l’extension des zones de cultures en suivant le front pionnier, les parcelles non cultivées sont défrichées par le feu une première fois et ne brûlent plus par la suite. (Caillault et al., 2012 ; Serpantié & Devineau, 1993).

Le développement agricole dans la zone d’étude n’a pas suivi le même rythme dans l’ensemble des communes du projet. Des technologies agricoles comme la charrue à bétail et la mécanisation de l’agriculture sont plus récentes dans les communes de Pô et Nobéré, qui sont directement situées sur l’axe de communication entre Ouagadougou et le Ghana. En effet, ces communes ont été les cibles de politiques agricoles et d’aménagement plus tôt que les autres communes (dans les années 80’). L’intensification de l’agriculture y est donc plus ancienne et peut s’observer dans le paysage mais également par l’analyse de l’évolution des feux dans la zone d’étude² (Bictogo, 2010).

L’agroforesterie est très présente dans la région, les arbres à Karité (Néré, anacardier et autres) couvrent presque la totalité des parcelles de cultures. Des questions se posent sur la durabilité de l’agroforesterie, dans le cas d’un prolongement des périodes de culture au détriment des cycles de jachères nécessaires à la régénération des arbres (karité), d’une intensification et d’une mécanisation de l’agriculture (Bockel et al., 2020 ; Ftaïta et al., 2007).

1.4. Les différents statuts des aires protégées

Le complexe d’aires protégées est défini par différents statuts³, que l’on peut regrouper en deux catégories : le domaine classé (PNKT, Nazinga, Sissili...) où l’agriculture, l’élevage, la coupe de bois sont normalement interdits, et le domaine protégés (Corridors, ZOVICs) où l’agriculture, l’élevage et le prélèvement de ressources ligneuses sont parfois autorisés. En plus de ces grandes aires protégées, la zone de projet contient également d’autres espaces protégés par des règles d’usage, que sont les CAF (Chantier d’Aménagement Forestier) eux-mêmes découpés en plusieurs UAF (Unité d’Aménagement Forestier). Les CAF peuvent être présents dans les deux types de domaines présentés (Gaud, 2018). La création des deux corridors, un premier reliant le PNKT à Nazinga et un second reliant le PNKT à un autre complexe d’aires protégées situé au nord du Ghana (figure 1), ont été créés et mis en place entre 2005 et 2007 (Devetakov et al., 2021 ; Ouedraogo, 2019).

² On observe moins de feux à l’est qu’à l’ouest même en 2000. Ces observations sont traitées dans la partie Résultats de ce rapport.

³ Ces statuts sont définis plus en détail dans le tableau en annexes.

La diversité d'espaces protégés dans la zone d'étude est un facteur clé pour comprendre les changements du paysage et pour comprendre l'état de la végétation dans la zone d'étude. Il est donc important de connaître les réglementations régulant ces différents statuts.

2. Identification des facteurs de changement dans paysage

2.1. Analyse des facteurs

L'identification des hypothèses de changement s'est faite par l'analyse de la bibliographie (littérature grise, rapports Nitidae, littérature scientifique) sur la zone d'étude et sur la région. Cette première approche de la zone d'étude permet l'identification d'un ensemble de facteurs qui peuvent influencer sur le paysage, certains d'entre eux ont ensuite été explorés plus finement. Le schéma en figure 3 résume ces facteurs de changements.

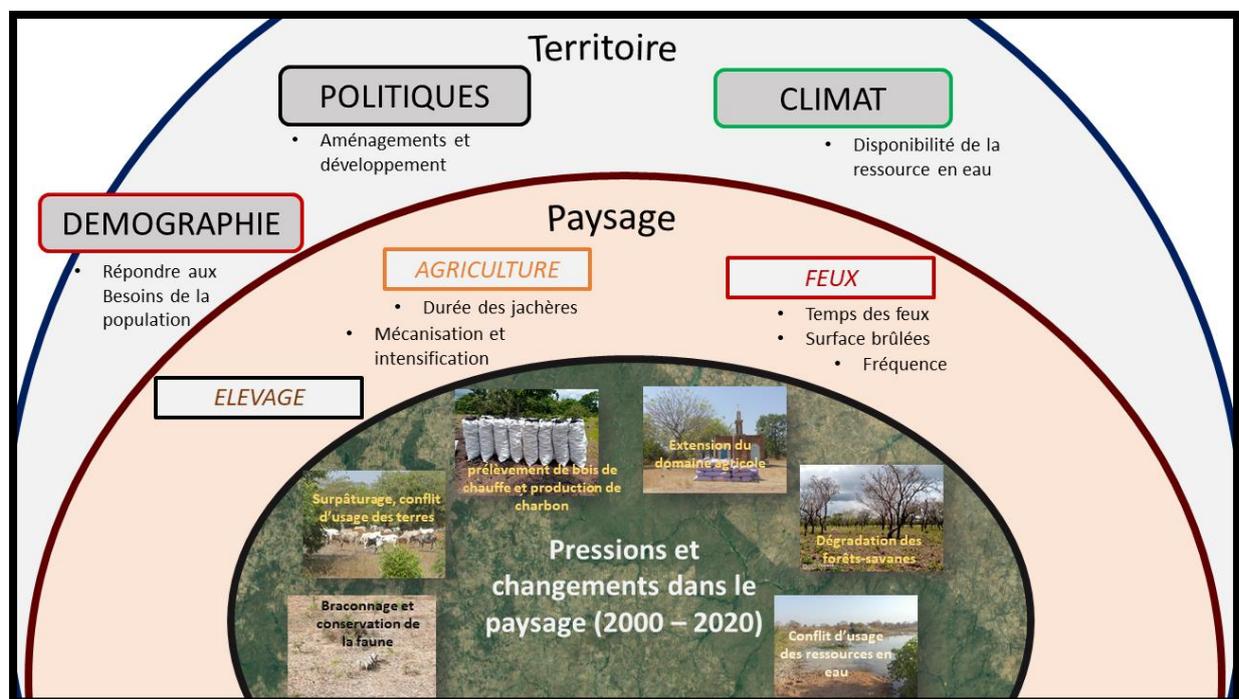


Figure 3 : Schéma résumant les hypothèses de changement du paysage.

2.1.1. La croissance démographique accentue la pression sur les ressources

C'est un des principaux facteurs de changement du paysage, il agit de manière indirecte sur les ressources (nourriture, eau, énergie...). C'est le résultat d'un solde naturel croissant combiné à l'arrivée de migrants originaires du nord du pays et depuis les villes, à la recherche de foncier agricole. Malgré l'exode rural, les

densités rurales sont en augmentation, ce qui est en partie lié aux phénomènes de déguerpissements⁴(Ouedraogo & Tallet, 2014).

Il est cependant trop simple de considérer la croissance démographique comme facteur de dégradation. C'est un fait, la croissance démographique a un impact sur les paysages (changement des modèles agricoles de rotation et extension), elle peut également être considérée comme moteur pour l'innovation, notamment sur le secteur de l'agriculture, et l'adaptabilité des populations pour répondre aux différents enjeux liés à l'augmentation de la population. Il n'est pas possible d'agir directement sur la population (à part dans le cadre d'une politique de régulation des naissances par exemple). En revanche, il est possible d'accompagner au mieux le développement de ces espaces pour limiter l'impact sur l'environnement et assurer une meilleure qualité de vie aux populations concernées (Picouet et al., 2004 ; Demont et al., 2007, Ostrom, 2009 ; Diaz et al., 2011 ; Pollini,2011 ; Schoon & Leeuw, 2015).

2.1.2. Les dynamiques agricoles évoluent

L'agriculture est le principal secteur d'activité et d'emploi du pays (Ouedraogo & Tallet, 2014). Le modèle de rotation des cultures et jachères disparaît progressivement au profit d'un modèle plus intensif et d'expansion des zones de cultures. L'agroforesterie est très présente dans les cultures (karité, néré, anacardier...) et dont l'exploitation est en général réalisée par les femmes, mais est menacée par l'intensification de l'agriculture (Ftaïta et al.,2007 ; Bockel et al.,2020).

2.1.3. L'augmentation de l'élevage comme source d'érosion et de dégradation des sols

Le surpâturage dans les zones villageoises et l'entrée des troupeaux dans les aires protégées malgré l'interdiction contribuent à la dégradation des savanes et l'érosion des sols (Devetakov et al., 2021 ; Ouedraogo, 2019). De plus, les pasteurs mettent régulièrement le feu aux savanes pour fournir à leurs troupeaux de l'herbe fraîche (Ftaïta et al.,2007 ; Rullier & Hemingway, 2021)

2.1.4. Concurrence autour de la ressource en eau :

Malgré la construction de boulis⁵ par les habitants, l'intensification de l'agriculture et l'élevage créent de la concurrence entre ces deux usages mais aussi avec la faune sauvage des parcs forestiers (Ouedraogo, 2019).

⁴ Les déguerpissements sont le résultat de la mise en place des aires protégées où il est interdit de cultiver les terres, la population migre à la recherche de nouvelles terres contribuant à augmenter la pression sur le foncier agricole (Caillault et al., 2012 ; Ballouche et al., 2019)

⁵ Etangs artificiels ayant pour but de retenir la précipitation lors de la saison des pluies.

2.1.5. La ressource en énergie comme facteur de dégradation des forêts-savanes

Le bois de chauffe et le charbon de bois collectés et produits dans les zones de savanes arborées représentent les sources d'énergies principales du pays. L'exploitation et l'exportation de cette ressource dans la zone d'étude se font en direction de la capitale de Ouagadougou. La coupe (illégale) représente une réelle menace pour les zones de savanes, malgré la création de CAFs qui y sont spécifiquement destinés (Gaud, 2018).

2.1.6. L'exploitation récente des ressources minières

Depuis quelques années, on peut constater une augmentation de l'exploitation des ressources minières. Il existe plusieurs mines (légal) sur les communes, mais de plus en plus, l'orpaillage illégal augmente, notamment dans de la forêt de Sissili et prêt du ranch de Nazinga, ce qui contribue à la dégradation de l'environnement lié à la déforestation et à la pollution des eaux et des sols par le rejet de substances toxiques tel que le mercure.⁶

2.2. Le feu comme facteur important de compréhension du paysage

Les régimes de feux sont caractérisés par plusieurs paramètres biogéochimiques (Bowman et al, 2009 ; Bond & Keeley, 2005) :

- Le type de combustible, déterminé par la composition du sol, le couvert végétal (accumulation de biomasse).
- Les caractéristiques de la végétation (pyrophile ou non).
- La temporalité dans laquelle intervient le feu, déterminée par la vitesse de propagation du feu dans le paysage.
- Le facteur de saisonnalité a un rôle important, il détermine la composition de la biomasse accumulée au sol (combustible) qui est différente en saison sèche et en saison humide. Dans notre zone d'étude, la biomasse est plus sèche et l'épaisseur de la litière plus importante en fin de période sèche, ce qui peut représenter un risque accru de propagation du feu.
- La fréquence à laquelle intervient le feu détermine également la quantité de combustible disponible.
- La disposition spatiale de la végétation par la continuité du patch forestier détermine également la propagation du feu dans le paysage.

⁶ Enjeux identifiés après plusieurs échanges avec les différentes équipes de Nitidae.

- La sévérité du feu, qui est une mesure de la dégradation des sols et de la végétation, pour faire l'évaluation des dégâts et dommages causés, ou de la régénération de la végétation post-feux.

La gestion des feux dans la région semble occuper un rôle majeur dans les changements sur le paysage. Le feu intervient dans différents cadres présentés précédemment et intervient sur plusieurs échelles d'échanges entre la nature et la société (Dolidon, 2007). En agriculture, le feu est traditionnellement utilisé lors du défrichage des jachères pour la remise en culture des parcelles, mais également lors du défrichage de nouvelles terres. La disparition progressive des systèmes de rotation des jachères et l'appauvrissement du foncier agricole disponible conduisent donc à la disparition des feux en zones rurales villageoises (Caillault et al., 2012). Comme dit précédemment, le feu est utilisé par les éleveurs pour mettre à disposition du bétail des jeunes pousses d'herbes plus appétentes et nutritives (Ftaïta et al., 2007 ; Rullier & Hemingway, 2021), on peut donc émettre l'hypothèse que les zones de pâturages qui participent à l'érosion des sols et la dégradation de la végétation sont reliées à l'observation de feux de brousses dans les aires protégées et dans les zones tampons des parcs⁷. Le feu est également utilisé dans les aires protégées pour entretenir la végétation, cet aspect répond à deux fonctions : le maintien des milieux ouverts pour la faune sauvage présente dans le parc qui peut ainsi prévenir l'arrivée des prédateurs, mais aussi afin d'assurer une bonne visibilité pour le tourisme de vision et la chasse.

On constate en général que les aires protégées au Burkina Faso brûlent plus que les zones rurales où il est normalement interdit de recourir à l'utilisation du feu (Ballouche et al., 2019). La temporalité des feux est une composante importante des régimes des feux, le degré de précocité va avoir un impact différent sur la végétation. On parle alors de feux précoces et de feux tardifs. Ces bornes dépendent de la date d'occurrence du feu de brousse en lien avec les données de pluviométrie. Un feu précoce prend place en début de saison sèche et un feu tardif en fin de saison sèche (végétation plus sèche, accumulation de bois morts, herbe sèche qui prend feu plus facilement). Cette temporalité des feux est associée avec l'idée du contrôle des feux. Les feux précoces sont plus faciles à maîtriser car moins de biomasse morte accumulée, et les feux tardifs sont par conséquent moins contrôlables spatialement car plus intenses en raison d'un combustible plus sec. La précocité des feux dépend donc de la saisonnalité et des données pluviométriques de chaque année pour définir les bornes. Il est convenu à travers la littérature que le 31 décembre peut faire office de borne entre feux précoces et tardifs. (Laris & Bakkoury, 2008).

2.3. Indicateurs qui vont être utilisés

Suite à l'identification des indicateurs présentés précédemment, nous avons choisi de nous concentrer principalement sur :

⁷ Pour rappel le pâturage dans les aires protégées est interdit mais parfois toléré.

- L'utilisation des terres, notamment la répartition des zones de végétation et des zones de cultures à l'aide de la production d'une carte d'occupation du sol.
- Le lien avec l'état général de la végétation qui sera mesuré à l'aide de l'indicateur de productivité végétale pour comprendre les dynamiques de la végétation dans le paysage.
- L'évolution des feux dans la zone d'étude en termes de surfaces brûlées, de fréquence sur une période donnée et la temporalité des feux (précoces et tardifs) qui est un facteur nouveau pour l'équipe de Nitidae.

3. Acquisition des données

3.1. Collecte des images satellites

Les images Landsat ont été choisies car elles permettent d'obtenir des images historiques pour analyser l'occupation du sol sur la période 2000 à 2020⁸, afin d'effectuer plusieurs cartes d'occupation du sol qui nous donneront ensuite des indications sur les changements du paysage.

3.2. Indicateurs spatialisés

Plusieurs indicateurs spatialisés ont été collectés à l'aide de la création d'un script Google EarthEngine, qui permet d'automatiser la collecte des données pour ce projet et qui pourra être réutilisé pour de futurs projets par la suite. Ce script permet de définir une zone d'étude et d'importer les indicateurs désirés après avoir renseigné le système de projection. Ces indicateurs comportent des données sur la hauteur de canopée, le relief, les stocks d'eau, les surfaces brûlées et leur date au format raster.

Ces données spatialisées ont été complétées par la récupération de la base nationale données SIG (BDOT 2012) et les données de terrain de Nitidae.

Les données de productivité végétale sur la zone de projet ont également pu être collectées à l'occasion de ce stage. Elles ont été produites par Nitidae d'après Montfort et al.,2020.

⁸ Notamment pour observer la création des corridors dans la zone de projet.

4. Méthode de cartographie d'occupation du sol et changements d'occupations du sol.

L'objectif est de produire une cartographie d'occupation du sol pour la saison culturale 2020 la plus précise possible, en mobilisant l'ensemble des images satellites disponibles pour la photo-interprétation, avec l'idée de produire par la suite plusieurs cartes d'occupation historique pour une meilleure analyse des changements du paysage.⁹ Aucune cartographie d'occupation du sol de la zone d'étude assez précise et récente était disponible. Ce type de carte permet aux opérateurs présents sur le terrain de diriger efficacement et d'orienter les actions et les projets d'aménagements. La production de cette carte s'est donc avérée nécessaire. La méthode utilisée pour la création de cette carte suit celles de Grinand et al., 2013.

4.1. Elaboration d'une typologie

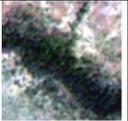
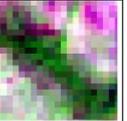
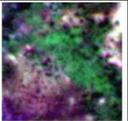
Code	Nom de classe	Description	Satellite haute résolution (1m)	Planet 2020 (10m)	Landsat 2020 (30m)
1	Forêt Dense et forêt Galerie	Formation de végétation le long de courts d'eau. Couvert dense >30% couvert arboré grands arbres (>5m)			
2	Savane arborée	Formation végétale avec un ensemble de strates arborée et arbustives disséminée parmi le tapis herbacé, couvert arboré >10% et <30%, arbres >5m			
3	Savane arbustive / herbeuses	Formation végétale composée d'arbustes disséminés parmi le tapis herbacés ou uniquement tapis herbacé. Végétation basse <3m, >90% de couvert végétal			
4	Cultures (arborées et sans arbres)	Surface de culture arborée et sans strate arborée, classes regroupées car principalement présence de cultures arborées			
5	Eau	Etendues d'eau naturelles permanentes et temporaires			
6	Sol roche, nu, dégradé	Affleurements rocheux (éboulis, falaises) et sols nus dépourvus de végétations.			

Figure 4 : Typologie de la cartographie d'occupation du sol 2020.

⁹ Malheureusement la qualité des images Landsat antérieur est trop médiocre et nous n'avons pas pu réaliser à temps des cartes historiques d'occupation du sol.

La typologie (figure 4) a été élaborée après la lecture du travail de Caillault et al., 2012 qui propose une cartographie historique de l'évolution des zones de cultures dans une zone à l'ouest du Burkina Faso. La typologie est également basée sur la cartographie nationale d'occupation du sol pour identifier les classes de végétation et leurs bornes (OSS, 2015). Nous avons donc choisi de représenter trois classes de végétation naturelle en différenciant les savanes arborées des savanes arbustives / herbeuses avec pour objectif d'identifier des potentielles zones de pâturages à partir de cette dernière classe (Sanon et al., 2014).

4.2. Méthode de classification

La méthode est décrite dans le schéma en figure 5. Les images satellites utilisées s'étendent sur la saison culturale qui débute en juin après la période de labour et termine en avril de l'année suivante une fois que les récoltes sont faites (Calendrier culturel FAO, 2010). Ces images ont été extraites à l'aide d'un script Google Earth Engine qui permet la création d'une image mosaïque sans nuage sur l'ensemble de la période (juillet à avril), et de calculer les indices de végétation (NDVI, NDWI, NDBR).

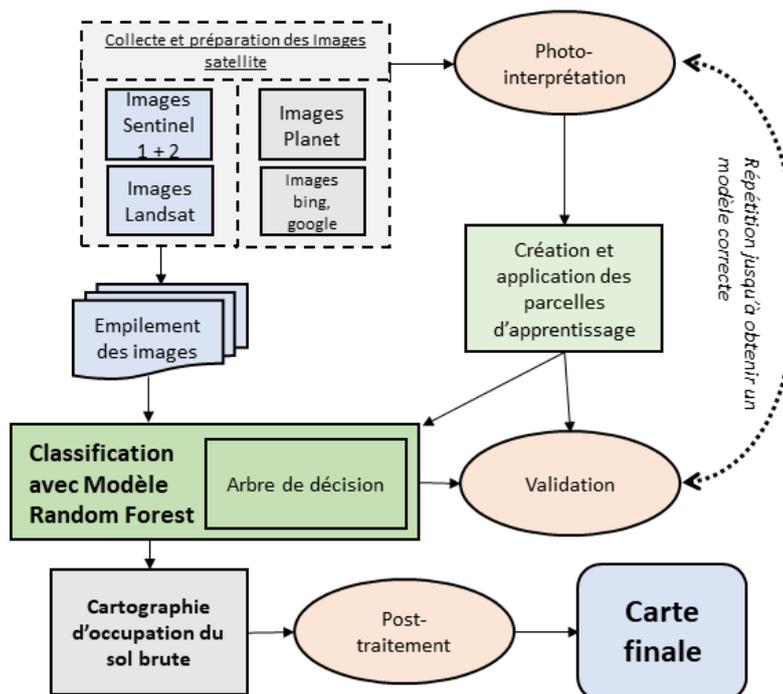


Figure 5 : Schéma résumant la méthode de cartographie d'occupation du sol. (Adapté de Grinand et al., 2013 et Montfort et al., 2020)

Les images Sentinel 1 (radar) et Sentinel 2 (optique) qui proposent des vues d'une résolution de 10m, ont été exportées depuis la plate-forme Sepal.io développée en partie par la FAO, et ont suivi le même

traitement que les images Landsat. La résolution a été diminuée à 20m lors de l'intégration au modèle de classification Random Forest pour accélérer le processus. La création des parcelles d'apprentissage est appuyée sur les images Landsat et Sentinel 1 et 2 ainsi que sur les images Planet 2020¹⁰ qui proposent une résolution à 5m, et les images haute résolution google satellite et bing (<1m de résolution)¹¹. Le modèle de classification « Random Forest » a été appliqué sur les images Landsat et Sentinel 1 et 2 à l'aide des parcelles d'apprentissage créées en suivant un arbre de décision¹² (Breiman, 2001).

Pour harmoniser les résultats, la carte a été tamisée en post-traitement sur Qgis à l'aide de l'outil « tamiser » de GDAL, avec un tamis de 11 pixels, pour obtenir des surfaces classées d'environ un hectare minimum¹³. Enfin, les zones d'habitation ont été ajoutées en post-traitement sur la carte (Données Facebook 2016).

5. Méthode d'analyse des changements de productivité végétale.

Les changements de productivité végétale (augmentation ou diminution de la biomasse végétale) sur une période donnée est un bon indicateur de l'évolution de l'état des terres (dégradation ou restauration des terres). Les changements de productivité végétale peuvent être analysés à partir du traitement d'images satellites, notamment par le calcul d'indices de végétation (NDVI). Les données NDVI sont disponibles sous forme de séries temporelles et permettent de quantifier de manière empirique les changements de la végétation. Cette analyse permet de localiser des zones ayant subi des changements significatifs durant la période, la direction de ces changements et par la suite de déterminer les facteurs potentiels naturels ou anthropiques de ces changements. (Monfort et al., 2020)

Une analyse des changements de productivités de la végétation dans notre zone d'étude a été réalisée précédemment par Nitidae. Cette analyse se base sur la méthodologie développée par Monfort et al., 2020, et est résumée dans la figure 6. Les changements de productivité de végétation (naturelle ou cultivée) ont dans un premier temps été analysés à l'aide des séries temporelles NDVI s'étendant sur la période 2001 à 2019 issues des données MODIS (MODIS13Q1). Tout d'abord, l'effet du climat a été extrait à l'aide des séries temporelles de données sur les précipitations (CHIRPS, 0,05°) et la température (CRU, 0,5°).

¹⁰ Exportées depuis l'extension Planet Explorer de Qgis

¹¹ La date de ces images dans la région est cependant inconnue, elles ont été estimées à 2016 environ en comparant avec les autres images.

¹² Schéma de l'arbre de décision disponible en annexes.

¹³ Le tamis permet d'obtenir un résultat plus cohérent et de lisser la cartographie en évitant les pixels isolés qui auraient moins de sens.

L'identification des facteurs de changement d'origine anthropiques peut ensuite être réalisée à partir de la carte d'occupation du sol pour l'année 2020 produite lors de ce stage. Chaque pixel peut être classifié selon la pente des tendances NDVI (augmentation ou diminution) et la catégorie d'occupation du sol pour identifier les principaux facteurs potentiels de changement.

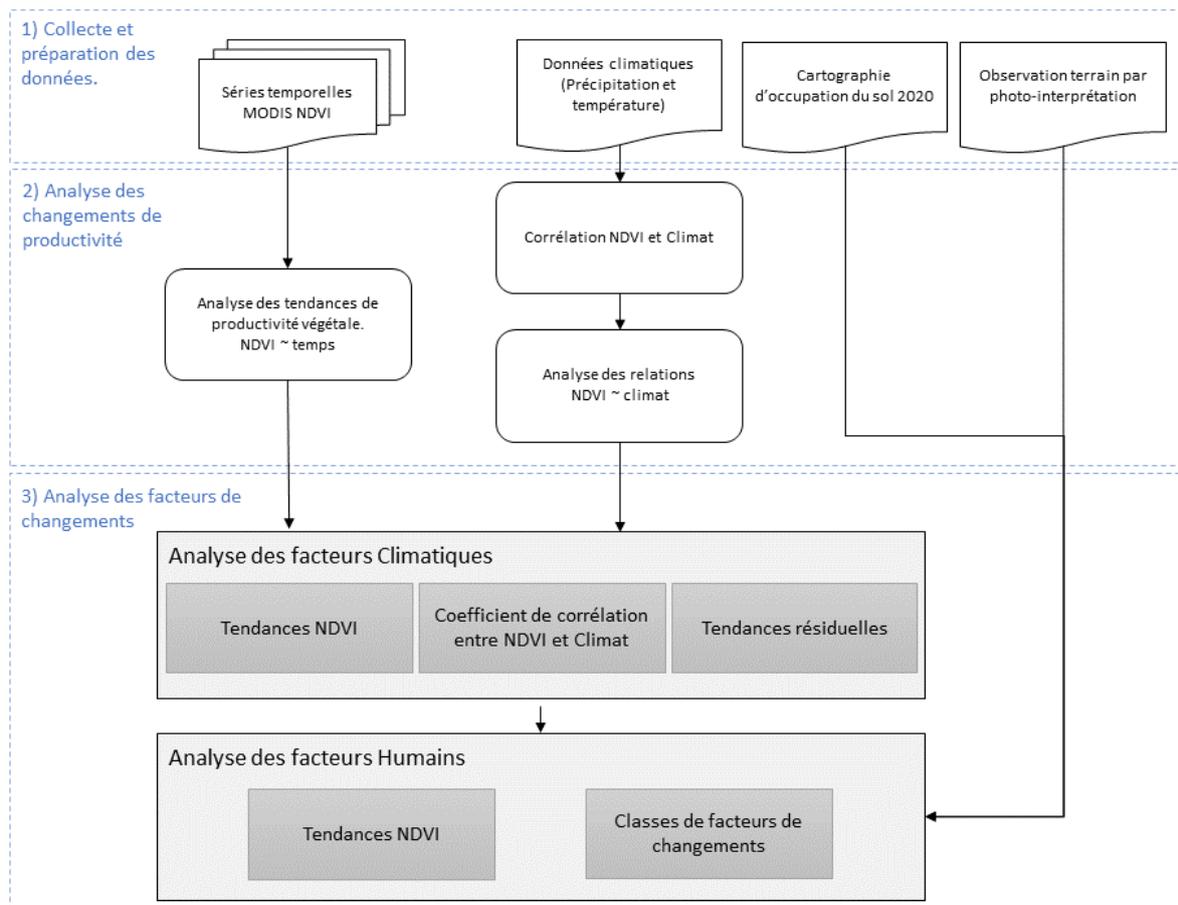


Figure 6 : Schéma résumant la méthode d'analyse des changements de productivité de la végétation et des facteurs sous-jacents (adapté de Monfort et al. 2020).

6. Méthode de cartographie de l'évolution des feux

L'analyse des indicateurs sur le feu est faite à partir de l'extraction des données « MODIS Burned-Area MCD64-A1 » journalières disponibles de 2000 à 2020 en prenant en compte les feux observés sur la période de juillet à juillet (saison des pluies). Les surfaces brûlées mensuelles ont été calculées par la moyenne des dates observées à l'aide de la fonction « Reducer.mean » de google Earth Engine. Les valeurs

aberrantes issues de ce calcul (feux pendant la saison des pluies) ont ensuite été supprimées de la base de données pour ne garder que les feux en saison sèche (octobre à mai)¹⁴.

Cette base de données nous a ensuite servi pour calculer la fréquence des feux annuels et pour la classification des feux précoces et feux tardifs. Les feux précoces sont définis entre le 6 septembre et le 31 décembre, les feux tardifs entre le 1er janvier et le 31 mai¹⁵ (Devineau et al., 2010).

L'indicateur dynamique sur l'évolution des feux dans la zone d'étude a été calculé à partir du calcul de la fréquence des feux entre les périodes 2000-2010 et 2010-2011, pour définir une augmentation et une diminution de la fréquence des feux.

7. Analyse statistique et croisée des indicateurs

La cartographie d'occupation du sol 2020 permet d'obtenir des statistiques d'occupation du sol sur les différentes zones d'intérêts du projet. Les facteurs humains de changement de productivité végétale ont été obtenus par le croisement des données de productivité végétale corrigées des facteurs climatiques (précipitation et température) et la cartographie d'occupation du sol 2020 obtenue. La donnée de productivité végétale a également été croisée avec l'indicateur d'évolution de la fréquence des feux pour évaluer le lien entre ces deux indicateurs.

Pour l'analyse statistique des résultats, nous avons choisi de délimiter une zone d'étude comportant les 5 communes plus l'ensemble des aires protégées. En effet, le PNKT, la forêt classée de Nazinon et le Corridor 2 comportent des zones à l'extérieur des communes d'interventions. La zone d'étude présentée plus tard dans les résultats s'étend donc à l'extérieur des communes d'intervention du projet PONASI, car il nous semble pertinent de pouvoir décrire au mieux les aires protégées présentes dans la zone de projet.

Résultats :

1. Cartographie d'occupation du sol et carte de changements

¹⁴ C'est la seule méthode trouvée pour exporter les données depuis Google EarthEngine au format raster, ces données étant sous forme de séries temporelles.

¹⁵ Les données sont exportées en jours juliens : feux précoces = 249-365 ; feux tardifs = 001-064)

1.1. Carte d'occupation du sol 2020 :

La carte d'occupation du sol sur la saison 2020 est présentée dans la figure 7 et les statistiques des parcelles appliquées lors de la classification sont présentées dans le tableau 2. La surface totale de la zone qui a été classifiée est égale à 3230 hectares pour un total de 771 parcelles appliquées. Les résultats de la classification nous indiquent une estimation avec 16,47% d'erreur sur l'ensemble de l'emprise de la carte¹⁶. La matrice de confusion visible sous R nous montre que la classe « sol nu / roche » présente le taux de confusion le plus élevé. Cette classe semble être confondue avec les zones de cultures, ce qui doit sûrement survenir dans les zones où la présence d'arbres dans les cultures est plus faible, mais aussi avec la classe de savanes arbustives / herbeuses notamment à l'intérieur des aires protégées, ce qui peut être dû à la possible présence de sols érodés dans cette classe.

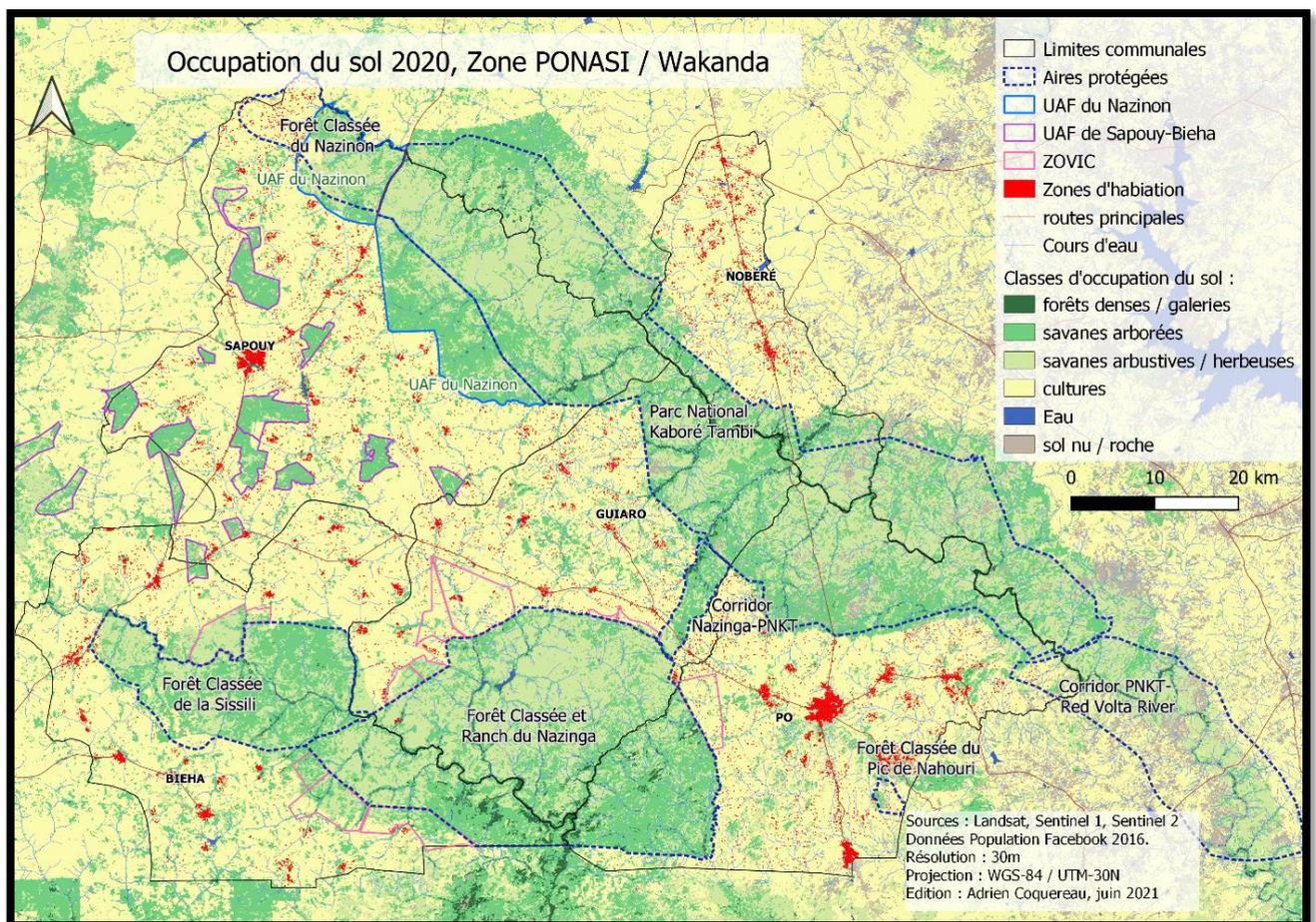


Figure 7 : Carte d'occupation du sol 2020.

¹⁶ C'est-à-dire hors des limites de la zone d'étude, la classification a été effectuée sur une surface d'environ 25 300 km². La majorité des parcelles de classification ont été appliquées dans la zone d'étude des 5 communes et 7 parcs.

Classes	Nombre de parcelles	Taille moyenne des parcelles (hectares)	Surface totale de classe (hectares)
Forêt galerie	73	3.2	236.8
Savane arborée	181	3.7	667.4
Savane arbustive / herbeuse	171	3.6	608.7
Culture	104	10.1	1 051.8
Eau	55	4.9	270.6
Sol nu / roche	187	2.1	394.6
Ensemble des classes	771	4.2	3 229.9

Tableau 1 : Description des parcelles appliquées lors de la classification d'occupation du sol 2020.

1.2. Statistiques zonales d'occupation du sol en 2020

Les statistiques des classes d'occupation du sol dans les différentes zones d'intérêts sont présentées dans le tableau 2. La proportion des classes dans les différentes zones d'intérêts sont détaillées dans la série de graphiques des figures 6, 7 et 8.

Les paysages entre les aires protégées et les zones rurales villageoises semblent bien différenciés. Les zones de cultures sont dominantes dans les zones rurales des cinq communes (50%), le reste est partagé entre les classes de savanes (24% pour les savanes arborées et 22% pour les savanes arbustives / herbeuses). A l'inverse, dans les aires protégées les catégories de végétations sont majoritaires (90%), les 10% restants sont partagés entre zones de cultures et les sols nus/roche.

Zones d'intérêts	forêt galerie	savane arborée	savane arbustive / herbeuse	culture	eau	sol nu, roche, zone urbaines	Surface totale
BIEHA	3 569	44 312	33 326	85 978	168	1 465	168 818
GUIARO	3 906	37 694	56 110	60 696	329	1 878	160 613
PO	2 874	40 677	32 699	74 766	1	7 062	158 080
SAPOUY	1 489	49 011	37 560	114 766	109	3 457	206 393
NOBERE	1 676	7 706	8 529	38 471	192	2 663	59 237
Forêt classée de la Sissili	925	18 387	12 920	1 799	1	111	34 144
Forêt classée du Nazinon	205	3 402	4 790	5 939	3	416	14 754
Forêt classée du Pic de Nahouri	4	148	135	649	-	102	1 039
Forêt Classée et Ranch du Nazinga	5 257	41 013	51 022	43	393	418	98 147
Parc National KaborÚ Tambi	6 849	61 978	89 059	35	10	7 264	165 195
Corridor Nazinga-PNKT	293	2 652	1 212	346	-	6	4 509
Corridor PNKT-Red Volta River	1 061	4 340	15 827	11 953	3	7 941	41 124
Total ZOVICs	227	5 106	7 466	11 552	-	172	24 523
Total UAFs	455	30 609	12 944	4 303	1	1 378	49 690
Ensemble de la ZE (Communes et Aires protégées)	16 262	201 534	212 473	385 515	803	26 981	843 568

Tableau 2 : Résumé des classes d'occupation du sol en 2020 dans les différentes zones d'intérêts.

Puisque les aires protégées concentrent une majeure partie des classes de végétation, il est intéressant d'isoler les résultats des communes sans les zones d'aires protégées. On peut ainsi constater que les zones non protégées présentent principalement des zones de cultures (75%), suivi par la savane arborée (14%) et les savanes arbustives/herbeuses (8%), présentes principalement à l'intérieur des UAFs et de certaines ZOVICs.

Concernant les ZOVICs, on peut observer une nette disparité dans l'occupation des sols de ces dernières. Les ZOVICs situées dans la commune de Bieha au sud-ouest de la forêt classée et du ranch de Nazinga ainsi qu'au nord de la forêt classée de la Sissili montrent une plus forte présence des zones de végétation, malgré une faible part de zone de culture en bordure intérieure de ces ZOVICs, ce qui peut être vu et interprété comme une avancée du front pionnier. En revanche, les ZOVICs dans les communes de Guiaro et Pô sont presque entièrement recouvertes par des zones de cultures (exceptée pour la ZOVICs la plus au sud-ouest de Guiaro¹⁷).

Dans les UAFs, les classes de végétation sont dominantes (87%) avec principalement de la savane arborée (61%). Cependant, on peut constater une proportion non négligeable des cultures dans les UAFs (8%) qui témoignent probablement d'une avancée des zones agricoles sur les zones de savanes. Les UAFs les plus marquées par des parcelles de cultures sont celles situées à proximité de la limite communale entre Bieha et Sapouy. La répartition des classes dans les communes est résumée dans la figure 9, La répartition dans les différentes zones d'intérêts est présentée dans la figure 8 et enfin la proportion des classes dans les aires protégées est présentée en figure 10.

¹⁷ Entre les villages de Sia et Natiédougou.

La détection de zones de cultures dans le corridor 1 entre le PNKT et Nazinga peut être expliquée potentiellement par l'augmentation des jachères suite à la mise en place du corridor en 2006, les jachères reprennent le pas sur les cultures alors abandonnées.

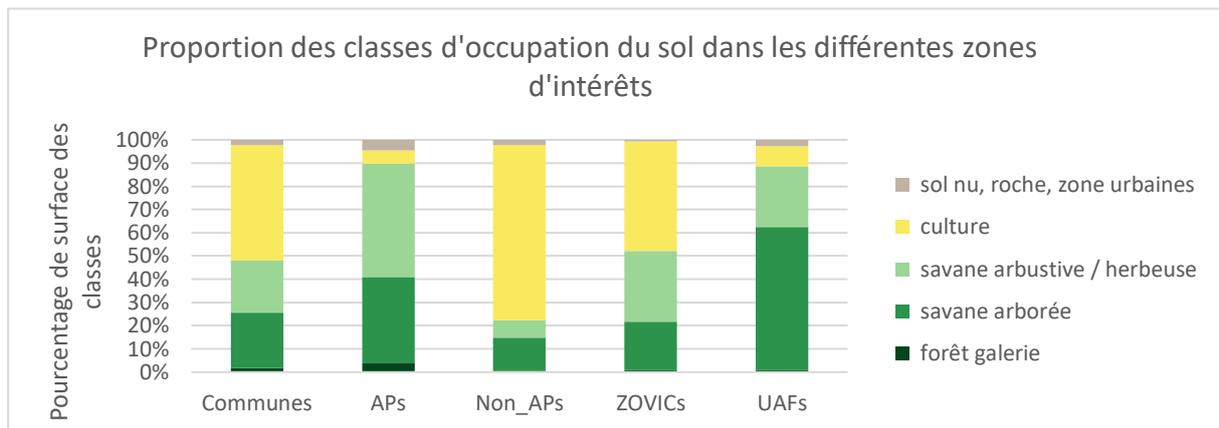


Figure 8 : Histogramme de la proportionnalité des classes d'occupation du sol entre les différentes zones d'intérêts en 2020.

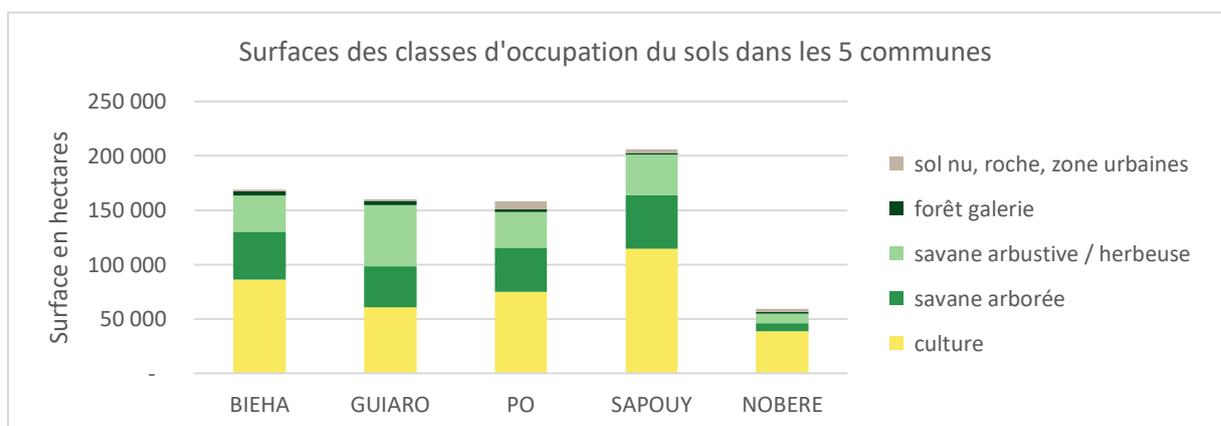


Figure 9 : Histogramme de la répartition en hectares des classes d'occupation du sol dans les cinq communes.

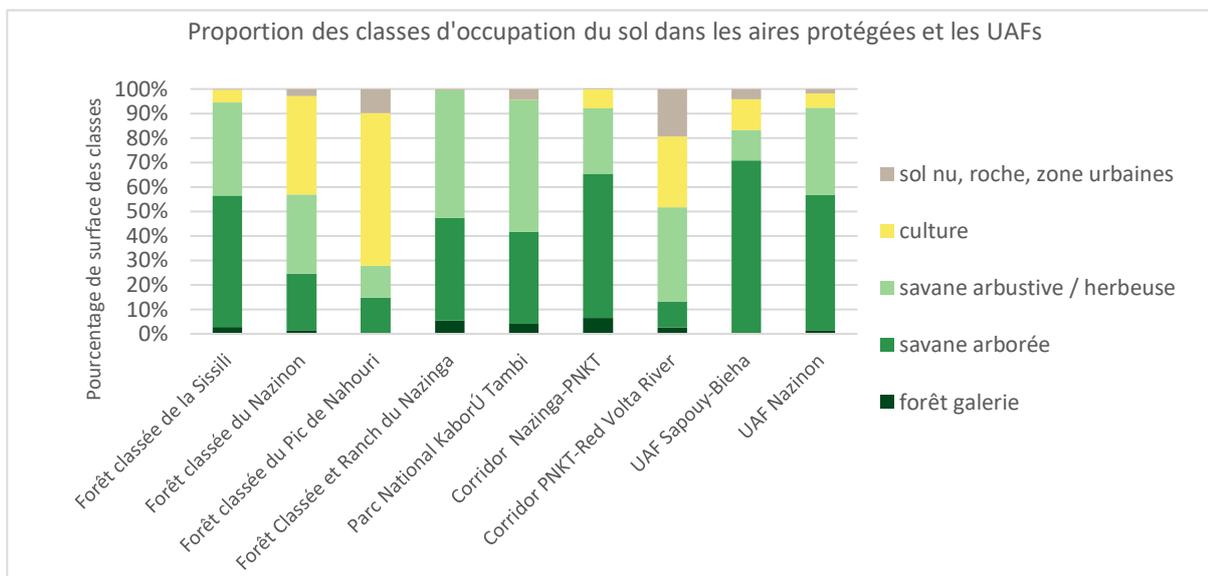


Figure 10 : Histogramme sur la proportionnalité des classes d'occupation du sol entre les différentes aires protégées en 2020.

2. Analyse des changements de productivité végétale

La carte d'occupation du sol en 2020 présentée précédemment a permis de compléter et d'approfondir les résultats déjà obtenus par Nitidae concernant les changements de productivité végétale dans la zone des projets PONASI / Wakanda. Les résultats statistiques de zones présentés dans ce rapport concernent la zone d'étude qui englobe les 5 communes et les 7 parcs de la zone de projet.

2.1. Changements de productivité de la végétation

Les résultats des changements de productivité végétale (augmentation / diminution) sont présentés dans la figure 11.

Environ 62% de la zone d'étude (525523 hectares) est caractérisée par aucun changement significatif de productivité de la végétation sur la période 2001 - 2019. Environ 20% de la zone d'étude (166425 hectares) présente une augmentation de productivité (restauration de la végétation), et se situe principalement dans les aires protégées, les corridors mais aussi dans les CAF et dans la commune de Nobéré. 18 % de la zone (151620 hectares) affiche une diminution de la productivité (dégradation de la végétation) et se situe principalement dans les zones rurales des communes de Guiaro et Sapouy.

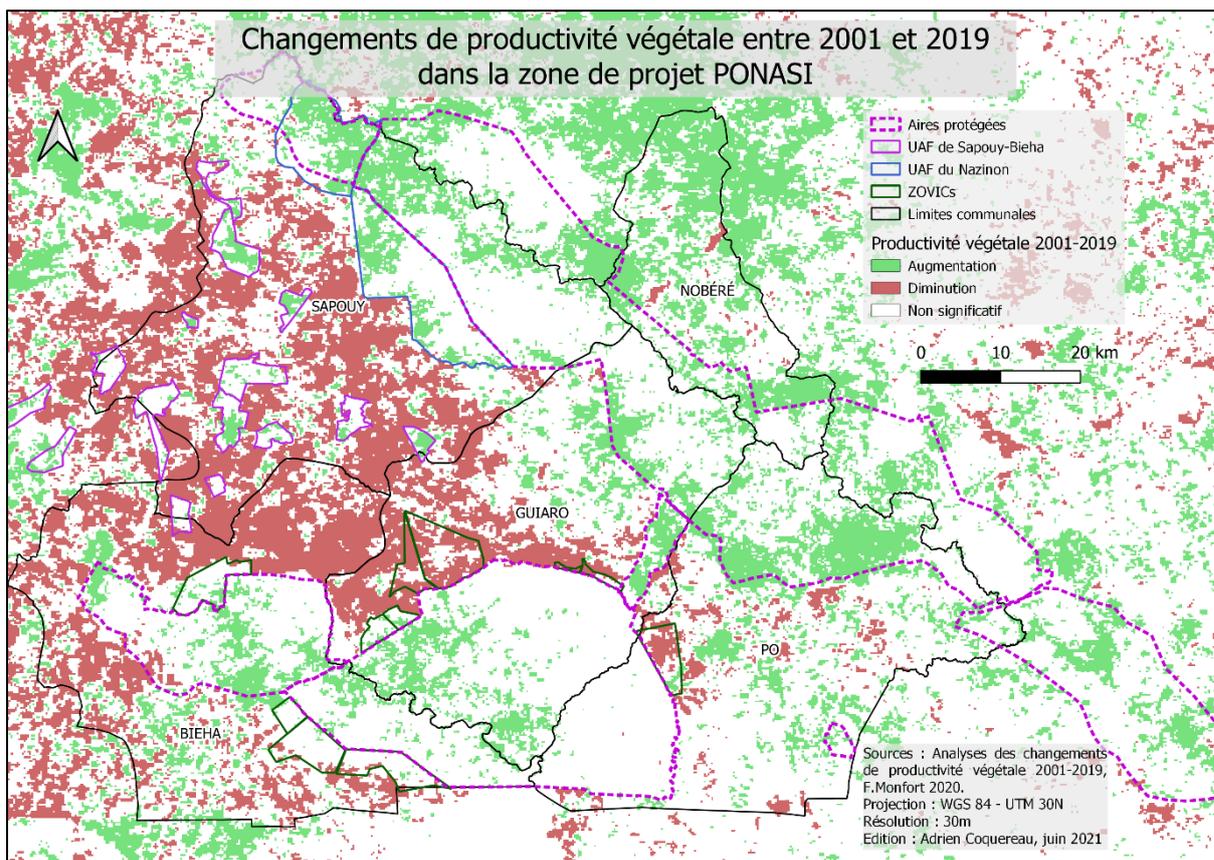


Figure 11 : Carte des changements de productivité végétale entre 2001 et 2019.

2.2. Identification des facteurs de changement

Pour une meilleure compréhension des données, nous avons choisi de ne pas afficher les facteurs d'origines climatiques dans la carte des facteurs d'augmentation de productivité (figure 12), et nous avons également fait le choix de ne pas représenter dans les résultats graphiques les facteurs représentant moins de 500 hectares.

2.2.1. Facteurs d'augmentation :

Les activités humaines sont légèrement dominantes concernant les facteurs d'augmentation de la productivité végétale dans la zone d'étude (tableau 3). Les facteurs humains correspondent à environ 58 % des facteurs d'augmentation. Cela peut être expliqué par une régénération naturelle ou assistée des zones de savanes arborées (21%), la régénération des zones de prairies (savanes herbeuses) et savanes arbustives (19%), potentiellement grâce à la limitation du pâturage dans les aires protégées, et à la potentielle augmentation des rendements agricoles et la densification agroforestière (12%). Les facteurs d'origines climatiques et humains non-confondus et seulement climatiques nous permettent d'expliquer 42% de l'augmentation de productivité dans la zone, et sont localisés surtout dans le nord de la zone

d'étude : dans la commune de Nobéré, dans le nord-est du PNKT et dans les deux CAF au nord de Sapouy, mais aussi dans les zones tampons des aires protégées.

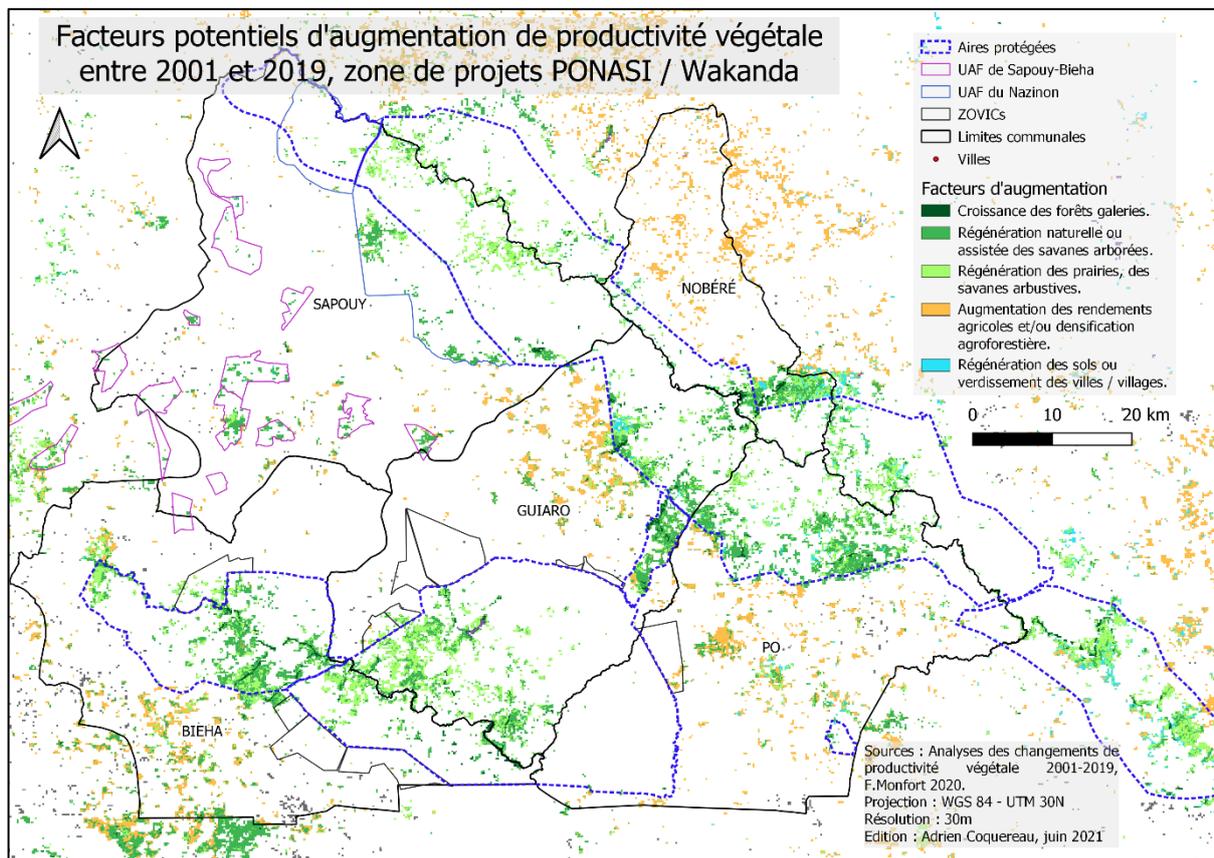


Figure 12 : Carte des facteurs humains d'augmentation de la productivité végétale dans la zone d'étude sur la période 2001-2019.

Tendances de NDVI	Facteurs potentiels de changement de productivité	hectares	% augmentation	
Augmentation	Climat + humains indifférenciés	40 689	24	42
	Climat	29 422	18	
	Croissance des forêts galeries	4 618	3	58
	Régénération naturelle ou assistée des savanes arborées	35 718	21	
	Régénération des prairies, des savanes arbustives	32 117	19	
	Augmentation des rendements agricoles et/ou densification agroforestière	19 940	12	
	Régénération des sols ou verdissement des villes / villages	3 738	2	

Tableau 3 : Résumé des facteurs d'augmentation de la biomasse végétale dans la zone d'étude.

La figure 13 nous renseigne sur la répartition des facteurs anthropiques d'augmentation de la productivité végétale dans chaque commune.

La commune de Bieha présente 44% de potentielle régénération naturelle ou assistée (RNA) des savanes arborées, 30% de régénération des prairies ou des savanes arbustives, et 20% par une augmentation des rendements agricoles ou une densification de l'agroforesterie (plus d'arbres dans les zones de cultures). Le reste est partagé entre la potentielle croissance des forêts galeries (6%) et la régénération des sols érodés ou le verdissement des villes / villages (1%).

La commune de Guiaro présente les mêmes taux assez élevés de RNA des savanes arborées et d'une régénération des prairies et savanes arbustives (38% chacune), principalement observable dans le corridor 1 (PNKT-Nazinga) récemment créé (Devetakov et al., 2021 ; Oudraogo C, 2019), et dans Nazinga. L'augmentation des rendements agricoles et/ou la densification agroforestière est le troisième facteur le plus important (17%).

Sapouy suit à peu près les mêmes tendances que Guiaro et Bieha avec principalement la RNA des savanes arborées (46%) suivi par la régénération des prairies et des savanes arbustives (34%). Ces deux premiers facteurs sont représentés surtout dans le PNKT et sa zone tampon, mais aussi dans les UAFs. L'augmentation des rendements agricoles et/ou la densification agroforestière représente 15% des facteurs dans la commune.

La commune de Pô présente 40% de potentielle RNA des savanes arborées principalement dans la zone du PNKT, suivit de 30% par le facteur d'augmentation des rendements agricoles et/ou d'une densification agroforestière, et 23% par la régénération des prairies et savanes arbustives. La régénération des sols dégradés ou le verdissement des villes et villages correspond à 5% des facteurs d'augmentation dans la commune.

La commune de Nobéré présente une répartition des potentiels facteurs humains avec comme facteur majoritaire l'augmentation des rendements agricoles et/ou la densification agroforestière (39%), suivi par la RNA des savanes arborée (26%) et la régénération des prairies et savanes arbustives (22%).

Les communes de Pô et Nobéré qui ont la plus forte proportion de zone de cultures présentent également les plus forts taux d'une potentielle augmentation parmi les facteurs humains des rendements agricoles ou d'une densification agroforestière (respectivement 30% et 39%). Ces résultats sont sûrement dus également aux dynamiques de développement agricoles et l'histoire des politiques agraires dans la région¹⁸.

¹⁸ Décrit plus tôt dans ce rapport.

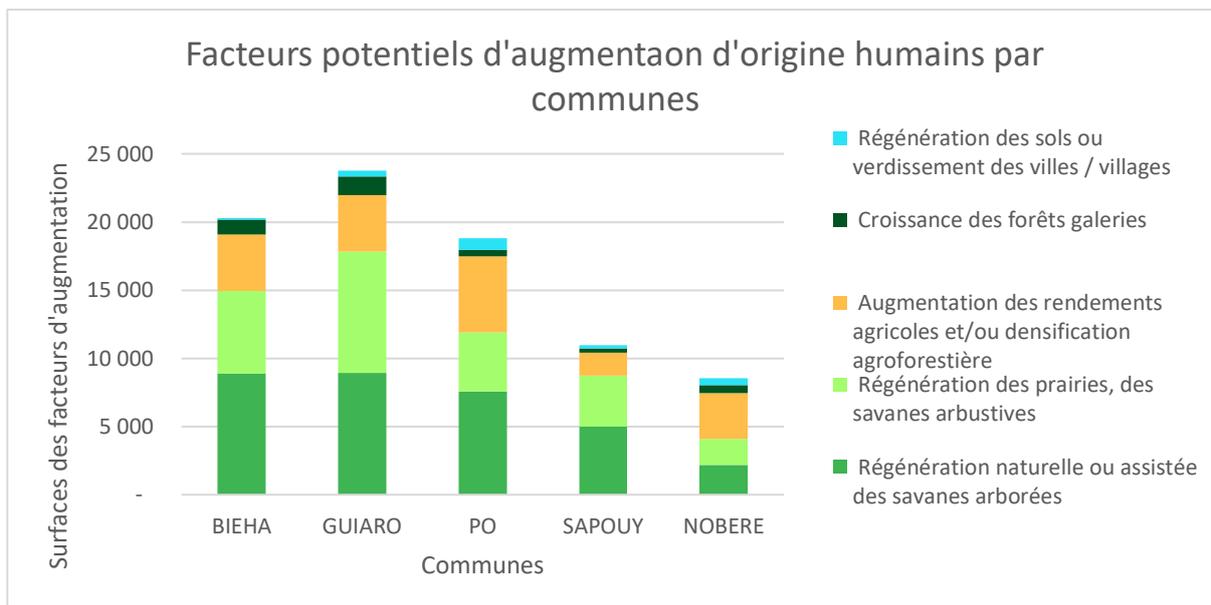


Figure 13 : Histogramme en hectares des différents facteurs humains d'augmentation de la biomasse végétale dans les cinq communes.

Tendance NDVI	Facteurs potentiels de changement de productivité	BIEHA	GUIARO	PO	SAPOUY	NOBERE
Augmentation	Climat + humains indifférenciés	1 210	2 948	12 050	5 393	13 528
	Climat	399	1 112	2 616	16 276	4 595
	Croissance des forêts galeries	1 123	1 373	463	317	590
	Régénération naturelle ou assistée des savanes arborées	8 917	8 919	7 575	5 012	2 198
	Régénération des prairies, des savanes arbustives	6 033	8 924	4 311	3 744	1 901
	Augmentation des rendements agricoles et/ou densification agroforestière	4 117	4 114	5 595	1 662	3 337
	Régénération des sols ou verdissement des villes / villages	121	440	870	224	523

Tableau 4 : Résumé des facteurs humains d'augmentation de la productivité végétale par communes.

2.2.2. Facteurs de diminution :

La diminution de la productivité végétale peut être expliquée par les facteurs potentiels d'origines anthropiques, les facteurs d'origine climatiques représentant moins de 1% des diminutions dans la zone, nous avons choisi de ne pas les représenter dans la carte en figure 14 et le tableau 5. Parmi ces facteurs, le défrichement dans les terres cultivées (coupe des arbres), la perte de fertilité des sols ou la diminution des rendements agricoles permettent de résumer presque la totalité des diminutions d'origines humaines (91,5%), le second facteur qui intervient est le défrichement dans les zones de savanes arborées, probablement à cause de la coupe des arbres pour le bois de chauffe et la production de charbon (4%).

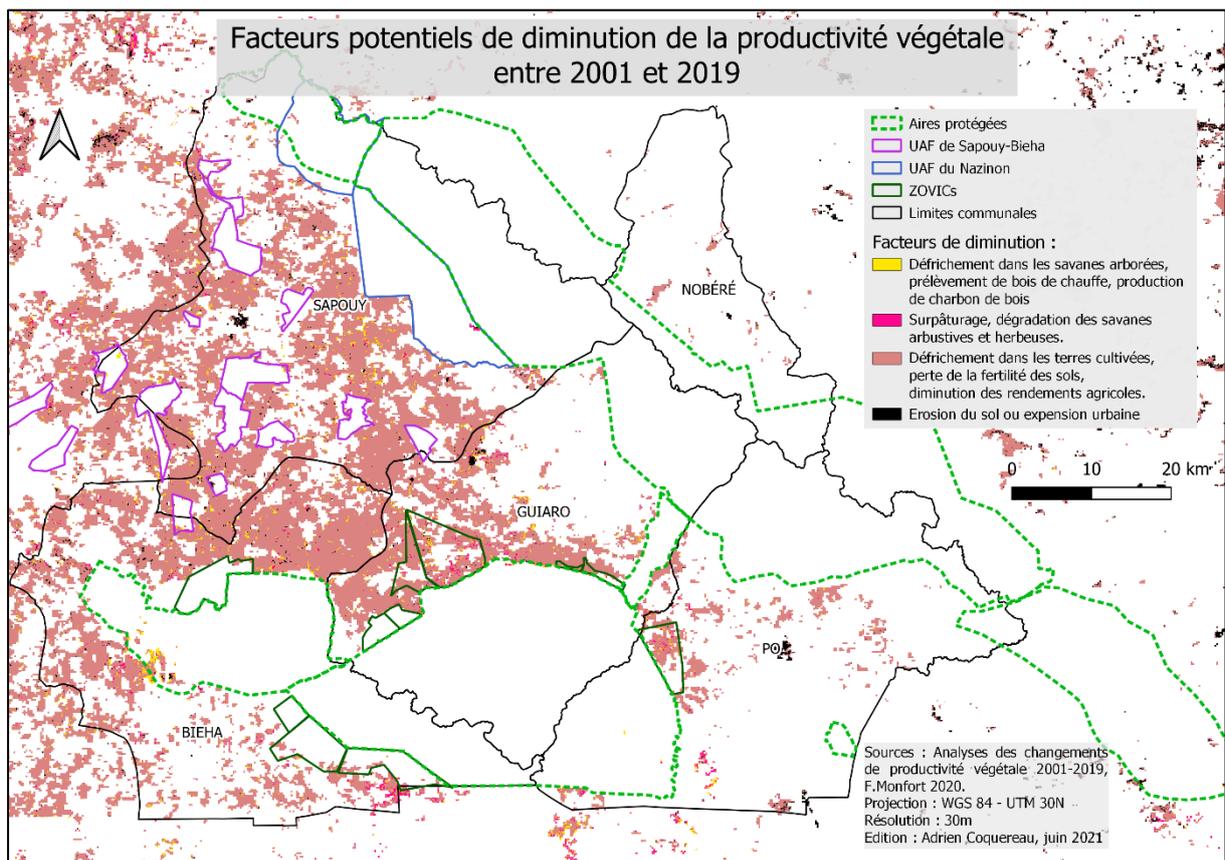


Figure 14 : Carte des facteurs humains de diminution de la productivité végétale.

Tendances de NDVI	Facteurs potentiels de changement de productivité	hectares	% diminution
Diminution	Défrichement dans les savanes arborées, bois de chauffe, charbon de bois, feux tardifs	5 603	4
	Surpâturage, dégradation des savanes arbustives et herbeuses, augmentation des feux tardifs	2 881	2
	Défrichement dans les terres cultivées, perte de la fertilité des sols, diminution des rendement agricoles	138 741	93
	Erosion du sol ou expansion / densification urbaine	2 124	1

Tableau 5 : Résumé des facteurs humains de diminution de la productivité végétale dans la zone d'étude.

Les zones concernées par la diminution de la productivité végétale sont presque exclusivement des zones rurales villageoises situées au centre et à l'ouest de la zone d'étude dans les communes de Guiaro, Sapouy et Bieha. Ces résultats montrent un clivage entre les communes à l'est et celle à l'ouest de la zone d'étude, qui peut être expliqué par l'histoire des politiques de développement agricole dans la région. La

mécanisation agricole est plus ancienne dans les communes de Pô et Nobéré, qui sont traversées par un axe de communication majeur connectant Ouagadougou avec le Ghana (figure 1). Cela aurait contribué à une intensification de l'agriculture qui serait plus ancienne (Rullier & Hemingway, 2020 ; Bictogo, 2010). On peut également observer les changements de pratiques à travers l'observation des feux au début de la période étudiée en 2000 (figure 16) où l'on peut déjà observer moins de feux à l'est.

La figure 15 nous permet d'observer la répartition des potentiels facteurs humains de diminution de la productivité végétale pour chaque commune, malgré la forte proportion générale des facteurs de défrichement dans les terres cultivées, la baisse de la fertilité des sols et la diminution des rendements agricoles.

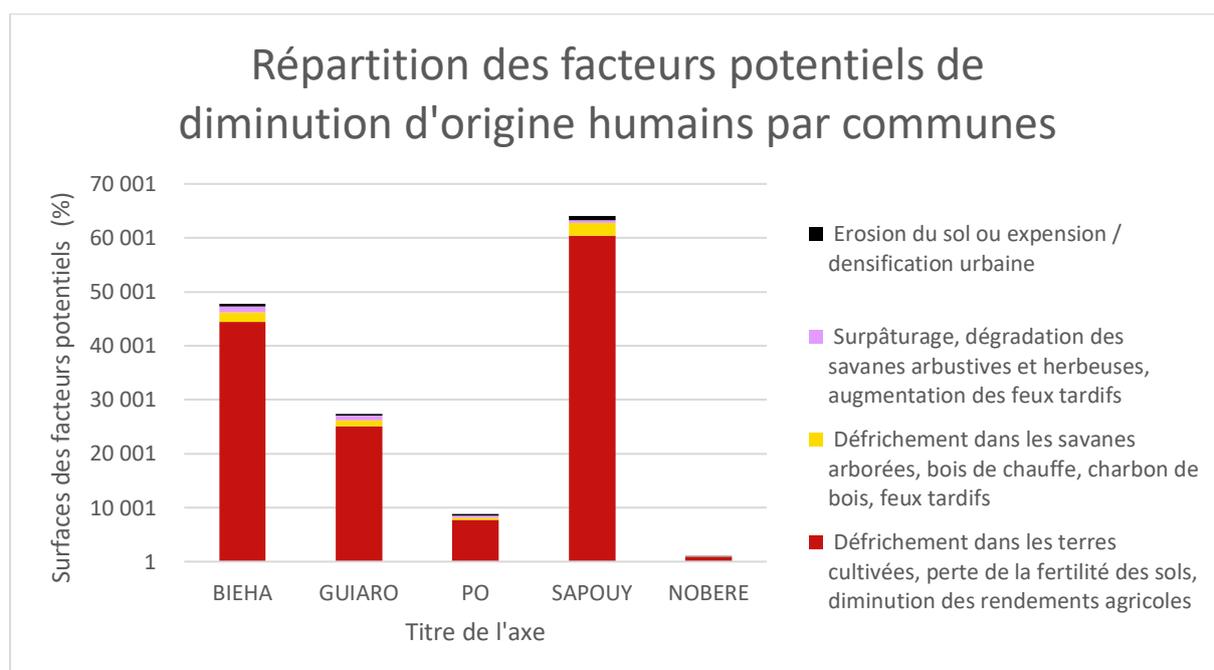


Figure 15 : Histogramme zonal de la surface des facteurs de diminutions de productivité végétale par communes.

3. Résultat du traitement des données sur les feux

3.1. Evolution des surfaces brûlées entre 2000 et 2020

Dans l'ensemble de la zone d'étude contenant les communes et les aires protégées, les feux ont tendance à diminuer depuis 2005, ce qui est confirmé par le graphique en figure 17a. Les données ont été lissées en effectuant une moyenne sur trois ans des surfaces brûlées. Entre 2000 et 2005, les surfaces brûlées augmentent, ce qui est peut-être dû en partie aux phénomènes de déguerpissement qui correspondent avec la période de mise en place du corridor 1 entre le PNKT et Nazinga. Les agriculteurs cherchent de

nouvelles terres et défrichent d'autres terres dans la zone d'étude. Cependant la majeure partie des feux se trouvent dans les aires protégées depuis 2005. Le degré de précocité des feux varie peu quand on observe l'ensemble de la zone d'étude. En observant l'évolution des feux dans les autres zones d'intérêts pour le projet PONASI que sont les ZOVICs et les UAFs (figure 18), on constate que la tendance des surfaces brûlées reste à la baisse sur la période de 2000 à 2020. Cependant, la proportion des feux tardifs est nettement supérieure et tend à augmenter avec le temps.

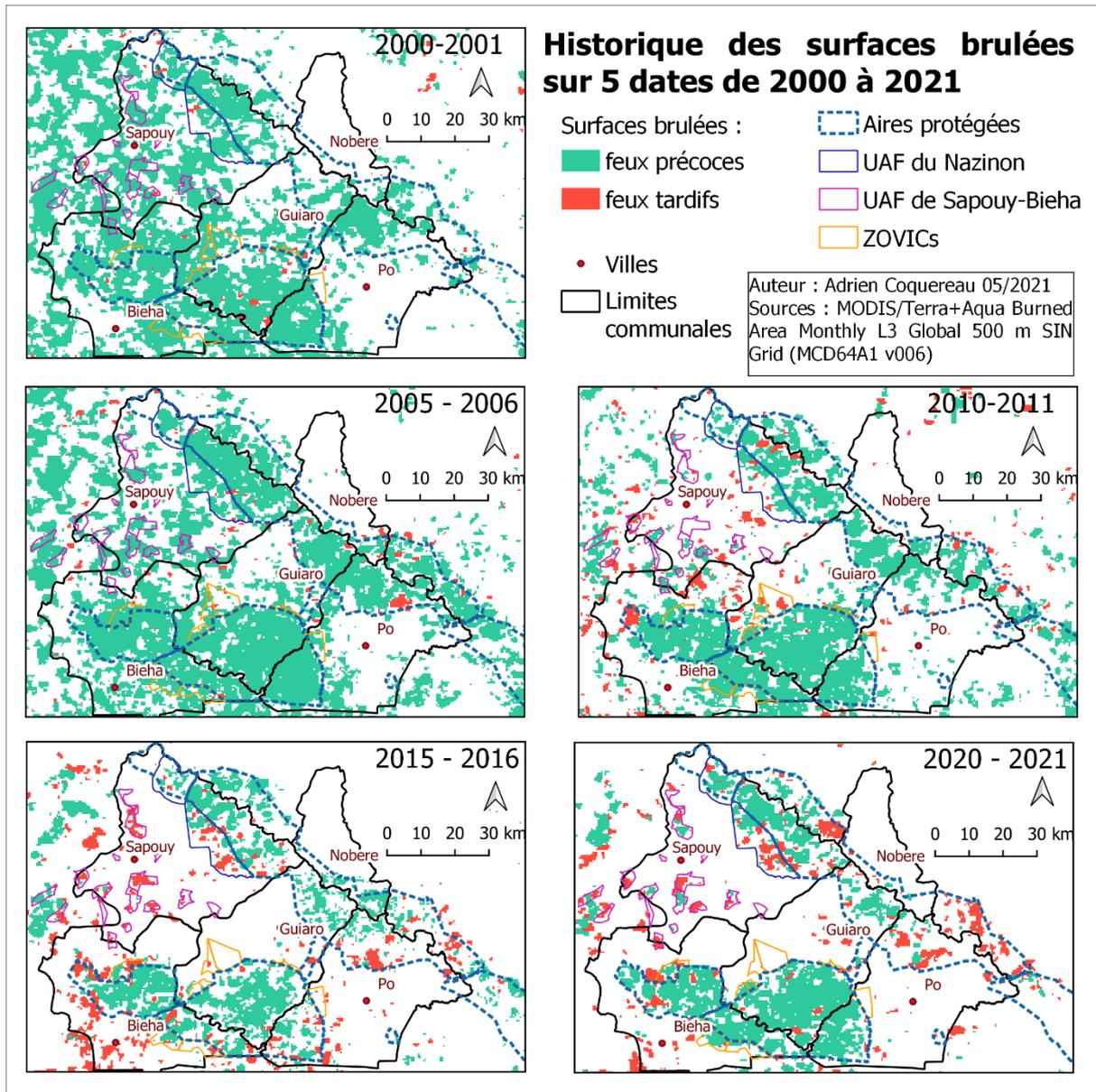


Figure 16 : Cartes des surfaces brûlées et du degré de précocité des feux pour les saisons 2000, 2005, 2010, 2015 et 2020.

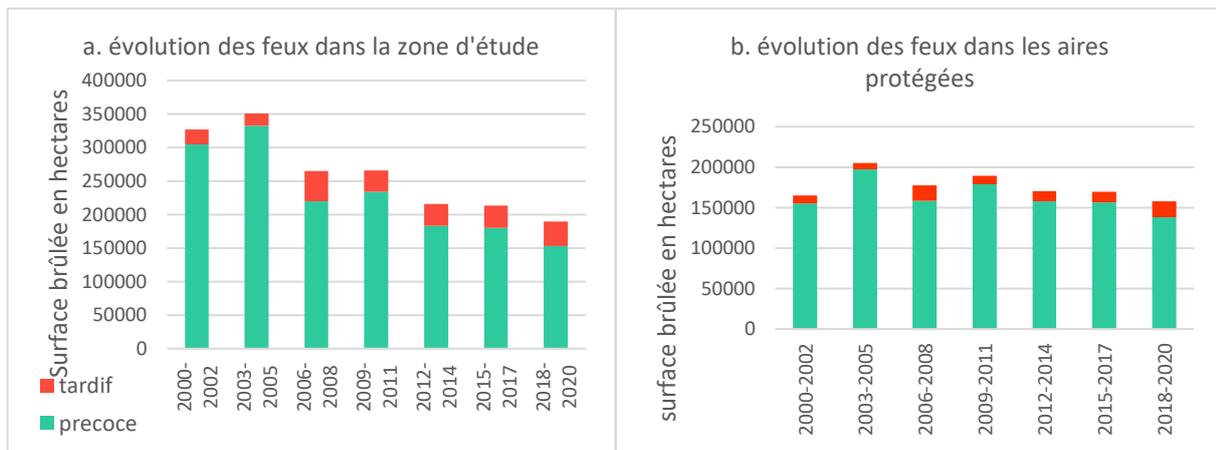


Figure 18 : Histogrammes de l'évolution des feux dans la zone d'étude sur la période 2000-2020. Les données correspondent à une moyenne effectuée sur des périodes de trois ans.

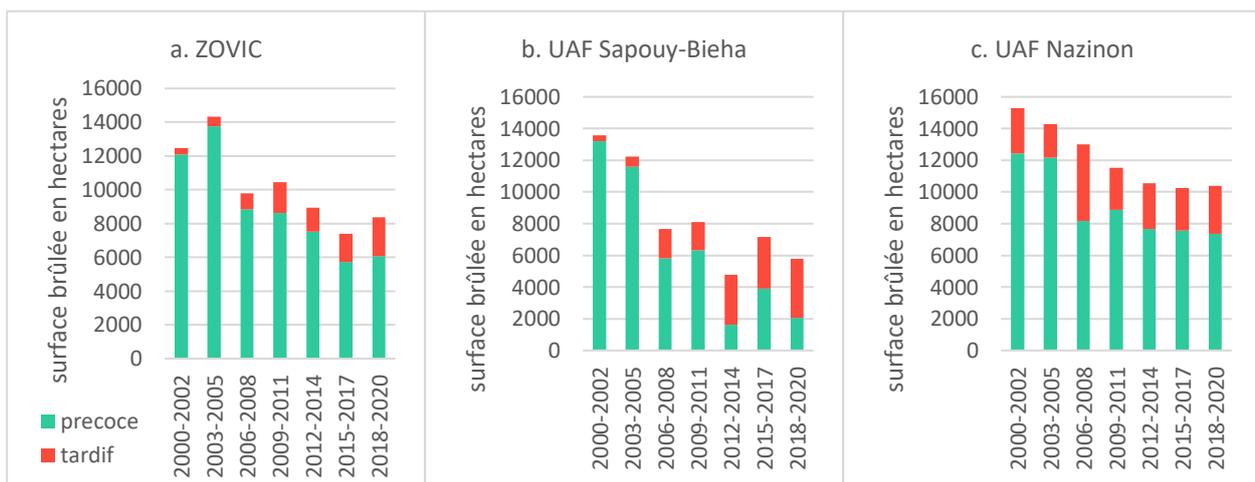


Figure 17 : Histogrammes de l'évolution des feux entre 2000 et 2020 dans a) Les ZOVICS, b) l'UAF de Sapouy-Bieha, c) l'UAF du Nazinon. Les données correspondent à une moyenne effectuée sur des périodes de trois ans.

3.2. Fréquence des feux :

La fréquence des feux dans le complexe PONASI est étudiée sur deux périodes qui se suivent (2000-2010 et 2010-2020), présentées dans les figures 19 et 20. Le découpage de la fréquence des feux en deux périodes nous permet ensuite d'observer l'évolution de la fréquence des feux entre ces deux périodes et de constater s'il y a eu une augmentation ou une diminution de la fréquence des feux dans le complexe PONASI (figure 21). Entre 2000 et 2010, l'ensemble de la zone d'étude est couverte par des fréquences de feux relativement élevées y compris dans des zones rurales villageoises. Seules les zones rurales des communes de Pô et Nobéré présentent des fréquences plus faibles. La fréquence des feux dans les aires protégées est plus élevée. Entre 2010 et 2020, la fréquence des feux chute dans toutes les zones rurales de la zone de projets, excepté dans les UAFs et certaines ZOVICs. La forêt classée et le ranch de Nazinga semblent présenter une hausse de la fréquence des feux entre les deux périodes.

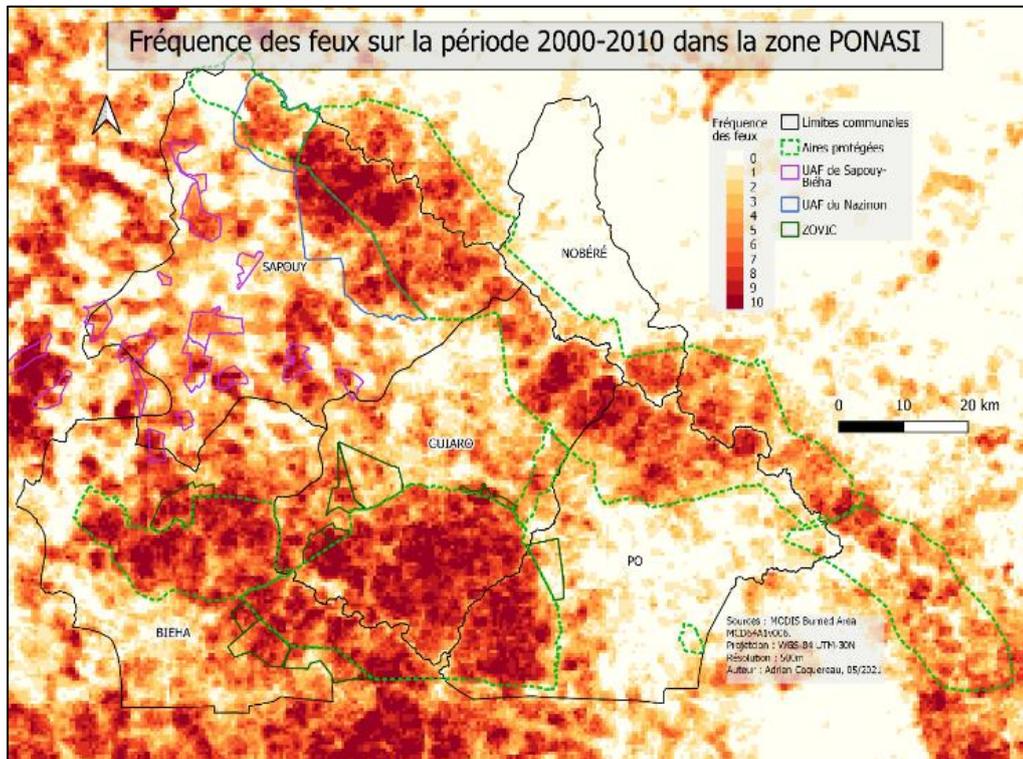


Figure 19 : Carte de la fréquence des feux sur la période 2000 – 2010.

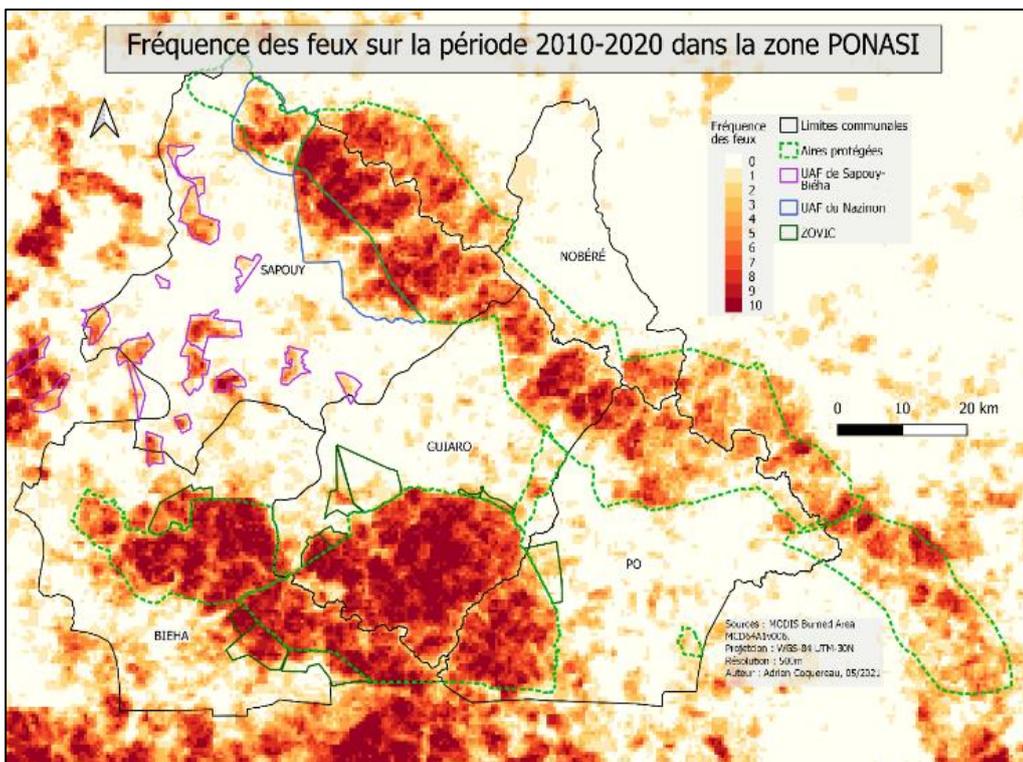


Figure 20 : Carte de la fréquence des feux sur la période 2010 – 2020.

3.3. Dynamique d'évolution des fréquences de feux entre les périodes 2000 à 2010 et 2010 à 2020.

La figure 21 résume l'évolution de la fréquence des feux entre 2000-2010 et 2010-2020. Cette carte a été produite à partir des cartes en figure 19 et 20 et permet d'obtenir un indicateur dynamique de l'évolution des feux dans la région. L'ensemble des zones non-protégées connaissent une diminution de la fréquence des feux, excepté dans la commune de Pô et Nobéré où la dynamique des feux est plus stable. Les zones qui montrent une augmentation des feux sont situées principalement dans la forêt classée et le ranch de Nazinga, dans la forêt classée de la Sissili et le PNKT. Cependant, ces zones sont également marquées par une diminution de la fréquence des feux en certains endroits, notamment le PNKT qui contient plus de zones de diminution de la fréquence des feux que d'augmentation (figure 22).

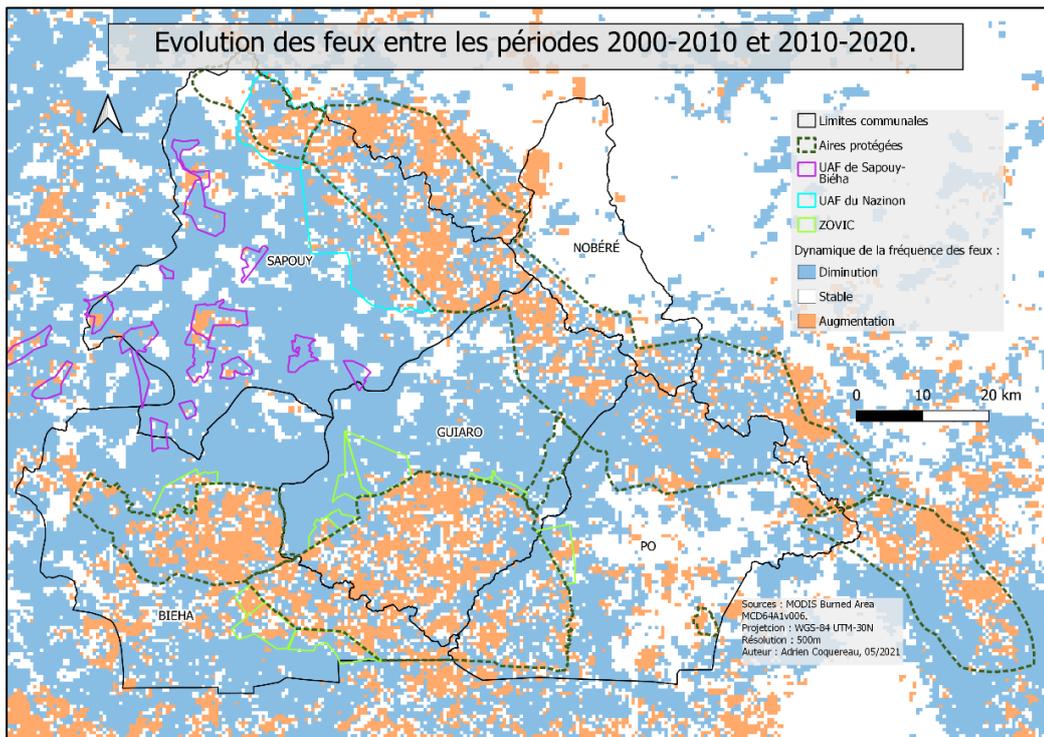


Figure 21 : Carte de l'évolution de la fréquence des feux entre les périodes 2000-2010 et 2010-2020

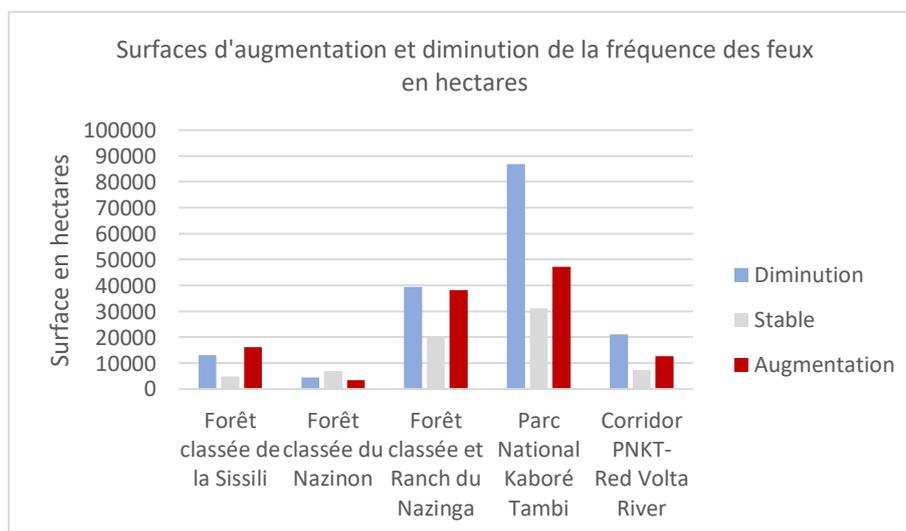


Figure 22 : Histogramme zonal résumant l'évolution de la fréquence des feux dans les aires protégées entre les périodes 2000-2010 et 2010-2020

4. Croisement de la productivité végétale avec l'évolution des feux.

Pour tenter d'évaluer le lien possible entre les feux et les changements de productivité végétale, les données produites sur la dynamique de la fréquence des feux (figure 21) a été croisée avec les données d'évolution de la productivité végétale (figure 11).

La relation entre la productivité de la végétation et la dynamique des feux n'est pas aussi évidente. Les aires protégées qui présentent une augmentation de la productivité végétale montrent aussi bien des zones marquées par une augmentation et une diminution des feux.

Le résultat du croisement des données de changement de la productivité végétale avec l'évolution de la fréquence des feux montre que parmi les zones présentant une augmentation de production végétale, 48 % de ces zones présentent également une diminution de fréquence de feux. Parmi les zones présentant une baisse de la productivité de végétation, on observe également 82% de diminution de la fréquence des feux. Ces résultats montrent une observation simultanée de la dynamique de productivité végétale et de l'évolution des feux, ils ne sont pas présentés comme étant le résultat d'une corrélation entre ces deux facteurs.

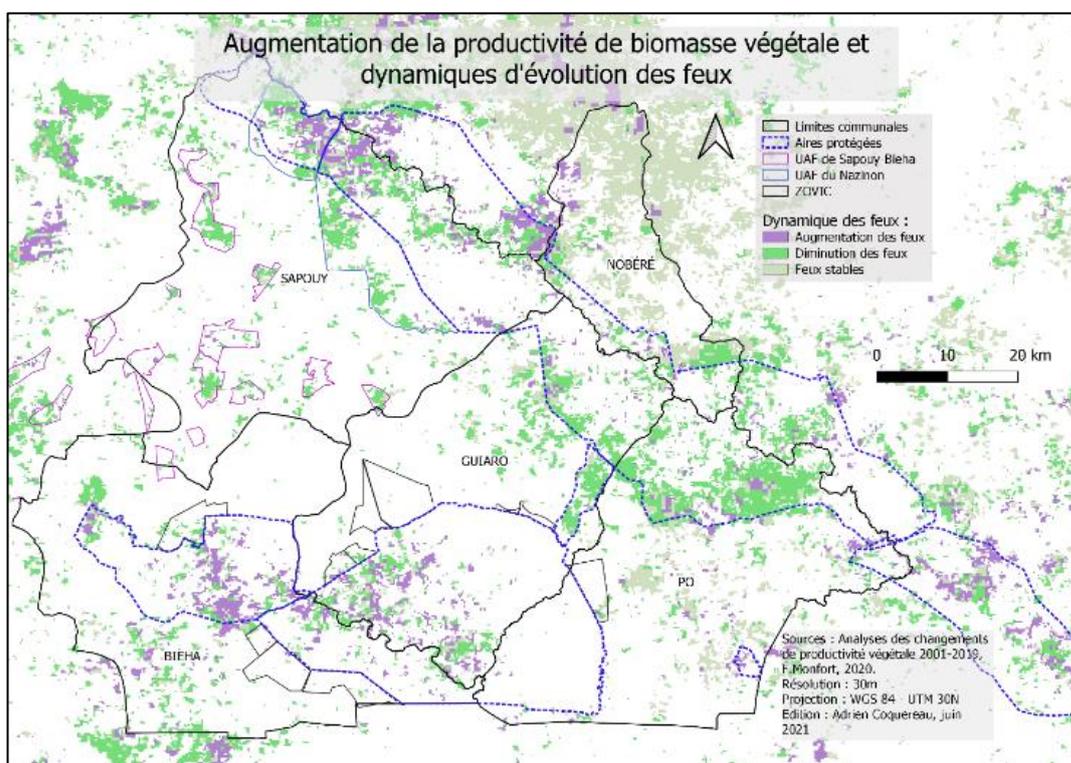


Figure 23 : Carte du croisement entre l'augmentation de la productivité végétale et la dynamique des feux.

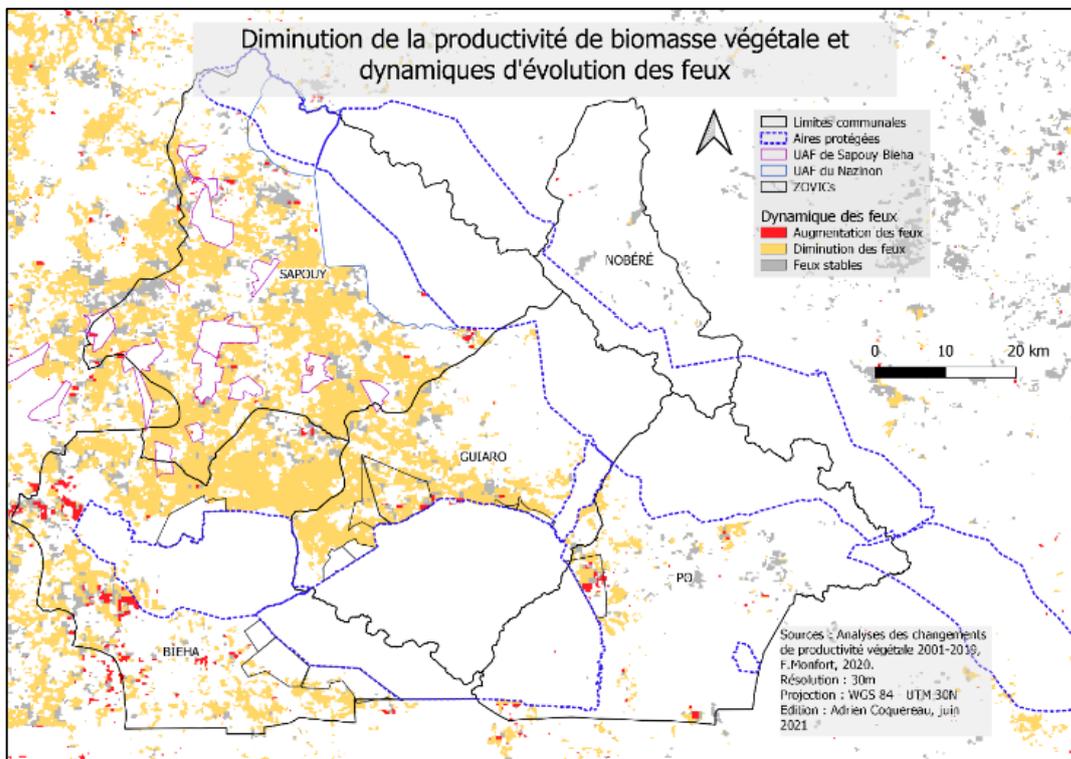


Figure 25 : Carte du croisement entre la diminution de la productivité végétale et la dynamique des feux.

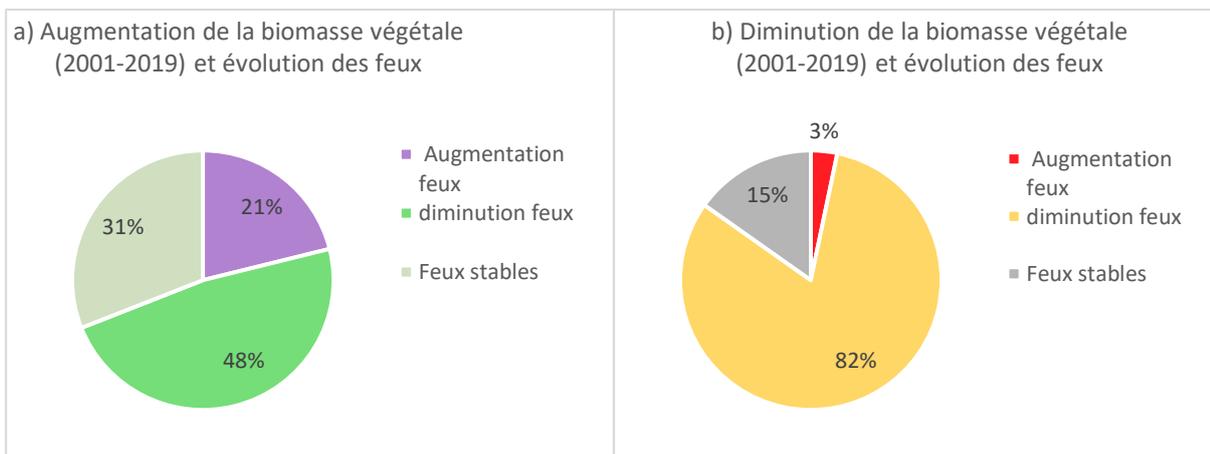


Figure 24 : Graphiques sur la proportion des surfaces issues du croisement entre l'évolution de la productivité végétale et l'évolution de la fréquence des feux.

Interprétation et discussion :

1. Les dynamiques des Paysages dans le complexe des aires protégées de PONASI.

La cartographie d'occupation du sol pour la saison 2020 permet d'adopter une première approche spatiale du territoire et de comprendre les enjeux présents sur la disponibilité des terres et l'intensification de l'agriculture. Les zones non-protégées dans les communes¹⁹ sont fortement marquées par l'agriculture laissant place à peu de zones de savanes. Les zones de cultures sont directement en bordure des limites des aires protégées du PNKT et de Nazinga ce qui témoigne d'une certaine pression sur le foncier agricole. Les résultats de l'analyse de la productivité végétale nous montrent que l'ensemble des zones rurales des communes de Sapouy, Bieha et Guiaro éprouvent une baisse de la productivité végétale liée à des défrichements dans les cultures (coupes des arbres à Karité...) et une possible baisse des rendements agricoles entre 2001 et 2019. Ces résultats ne permettent pas de confirmer s'il s'agit d'un défrichement des savanes pour la mise en culture, mais lorsque l'on observe les images satellites historiques de google entre 2000 et 2020, cette dynamique de mise en culture des savanes semble évidente. Les résultats obtenus dans les communes de Pô et Nobéré sont différents, les paysages dans ces communes semblent être plus marqués par l'intensification de l'agriculture, ce qui est probablement dû aux politiques de développement agricoles dans ces communes²⁰. Les facteurs humains d'augmentation de la productivité végétale dans les zones rurales de ces deux communes sont liés à soit à une augmentation des rendements agricole et la possible utilisation d'intrants, car pour rappel, l'indicateur de productivité végétale concerne également la productivité de biomasse végétale des zones cultivées. Cela peut également être dû à un reboisement ou l'intégration d'arbres pour la sylviculture sur les terres cultivées.

La détection de zone de cultures dans les corridors lors de la cartographie d'occupation du sol peut être le résultat de l'abandon récent des terres agricoles par les agriculteurs suite à des phénomènes de déguerpissement lors de la mise en place de ces corridors (2005). Ces zones sont constituées de jachères longues qui retournent progressivement à la savane, ce qui peut accentuer la confusion du modèle de prédiction.

La mise en place des aires protégées fonctionne plus ou moins selon les domaines étudiés, notamment dans les ZOVICs. Certaines ZOVICs sont dominées par des zones de cultures (le long des limites nord du ranch et de la forêt classée de Nazinga) et d'autres montrent ce qui peut être interprété comme un recul des savanes, défrichées pour la mise en culture. Le statut particulier des ZOVICs nécessite la concertation des autorités en charge pour comprendre les politiques d'aménagement de ces différentes zones.

On peut établir le même constat pour les forêts classées de la Sissili et du Nazinon avec une présence non négligeable de culture à l'intérieur des aires protégées.

¹⁹ Hors domaine classé et protégés (Réserves, forêts classées, UAFs)

²⁰ Comme indiqué lors de la présentation du contexte de la zone d'étude

Les limites du PNKT et de la forêt et du ranch de Nazinga semblent mieux respectées. Cependant, on peut observer dans la partie sud-est du PNKT des zones de sols dégradés (sol nu / roche) qui coïncident avec l'observation de feux tardifs depuis ces dernières années, mais l'analyse de la productivité végétale ne montre pas spécialement de diminution dans cette zone entre 2001 et 2019.

La végétation dans le PNKT et Nazinga est représentée à moitié par des savanes arbustives et herbeuses. Ce constat peut être expliqué d'une part, par les politiques de gestion de ces aires protégées, qui cherchent à maintenir des milieux ouverts pour la préservation de l'habitat des espèces sauvages, pour le tourisme visuel et pour la chasse, avec les feux de brousses comme outil principal d'entretien de la végétation. Les feux de brousses sont donc un facteur important de compréhension du paysage dans ces zones, comme en témoigne le maintien des surfaces brûlées et de la fréquence des feux dans ces espaces entre 2000 et 2020.

D'autre part, on peut observer l'entrée de troupeaux d'élevage dans les aires protégées malgré les interdictions (figure 26), ainsi qu'une augmentation des feux tardifs en bordure du PNKT et de Nazinga.

Enfin, on constate un léger renversement de la répartition entre feux tardifs et feux précoces notamment dans les UAFs. Ces zones sont fortement soumises à la régulation de leurs usages et font l'objets de politiques de gestions. Ces gestions ne sont probablement pas dues au hasard, mais plutôt à une gestion raisonnée, potentiellement liées aux fluctuations de la saison climatique.²¹ Pour mieux comprendre cette hypothèse, une analyse croisée entre les feux et les données climatiques est nécessaire afin d'évaluer l'impact des feux tardifs sur la végétation.

2. Proposition d'analyse du paysage : Etude de cas d'une zone au nord de la commune de Sapouy.

L'analyse paysagère est un exercice qui permet de comprendre une partie des enjeux sur le paysage dans la zone du complexe PONASI, et de montrer l'application qu'il est possible de faire des différents résultats obtenus dans cette étude. Cette analyse du paysage s'appuie sur la figure 24. Il s'agit d'une carte avec comme fond satellite une image Planet de novembre 2020 traitée de manière à faire ressortir la végétation en rouge (plus ou moins intense) et en blanc les cultures et les sols nus. Ce traitement de l'image à également la particularité de faire ressortir en noir les traces des feux de végétations. Ce paramétrage d'image Planet a beaucoup servi lors de la phase de photo-interprétation pour la cartographie d'occupation du sol 2020. Les flèches jaunes indiquent ce qui peut être interprété comme étant les principales zones d'entrées de pâturages dans les aires protégées. Ces zones sont identifiables par des lignes blanches sur la photo témoignant d'une éventuelle dégradation des sols sous le passage des troupeaux.

²¹ Discussion avec les opérateurs terrains de Nitidae.

La zone 1 est marquée par des tâches noires qui sont des feux de végétation²², probablement lancés par les gardes forestiers pour l'entretien de la végétation. Les résultats de cette étude nous indiquent qu'il s'agit d'une zone de savanes arbustive / herbeuse, ils montrent également une augmentation de la fréquence des feux dans cette zone ainsi qu'une augmentation de la productivité végétale.

La zone 2 est classée comme étant une mosaïque de savanes arborées et arbustives / herbeuses. On peut observer sur le fond satellite des traces de pâturages, ainsi qu'une petite zone de végétation brûlée en noir. De plus, cette zone est marquée par des feux tardifs en 2020 et une absence de données de productivité végétale (pas d'augmentation ou de diminution, ou valeur non-significative). Ces observations renforcent les questionnements autour du lien entre pâturages et utilisation des feux par les pasteurs dans les aires protégées.

La zone 3 est classée comme étant une zone de cultures à l'intérieur de la forêt classée du Nazinon. Les résultats montrent une baisse de la productivité végétale probablement liée à l'avancée du front pionnier dans l'aire protégée, possiblement renforcés par des feux tardifs en 2020.

Cette analyse localisée du paysage peut représenter une méthode d'interprétation des résultats à l'échelle des villages, et peut être utilisée comme outil de communication auprès des acteurs du territoire.

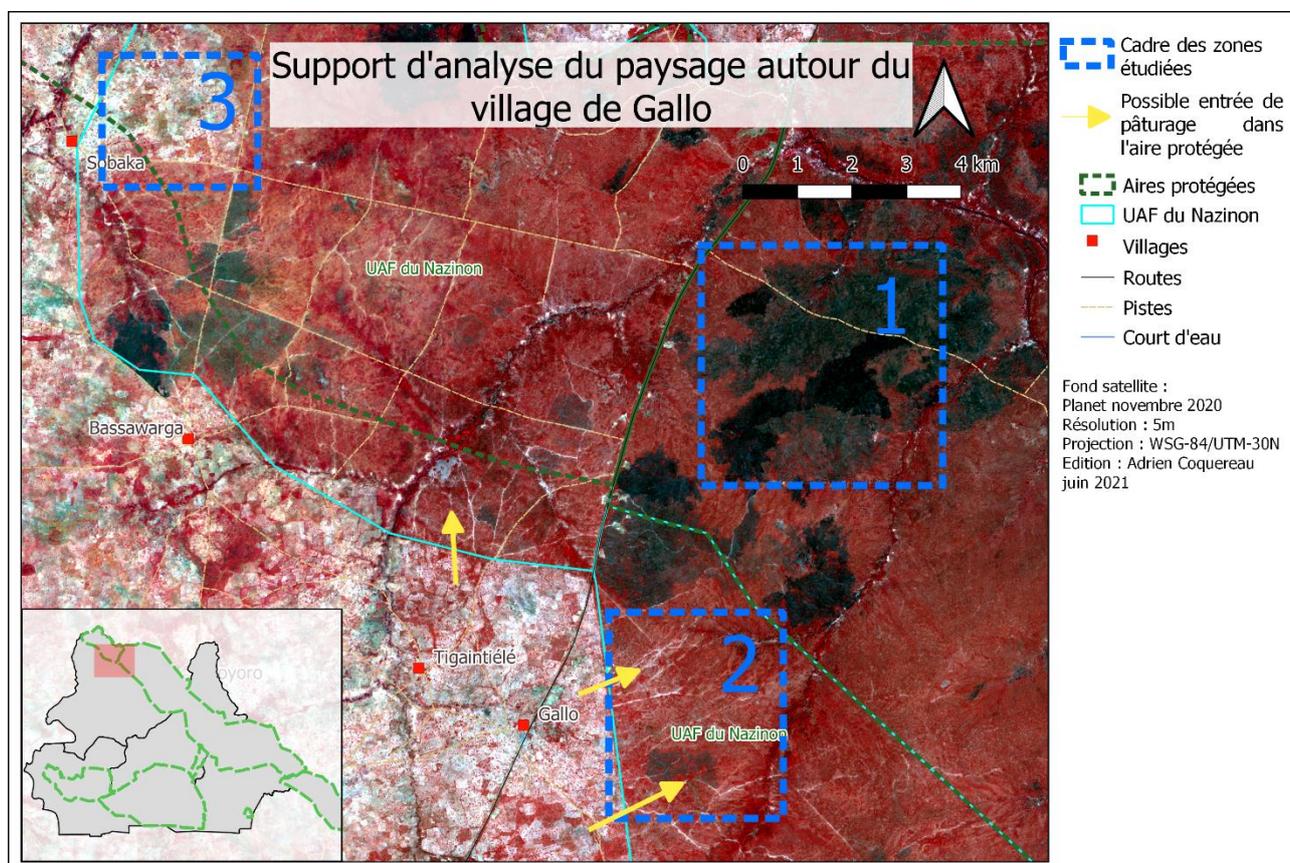


Figure 26 : Support pour la proposition d'analyse du paysage. Etude de cas autour du village de Gallo au nord de Sapouy.

²² Validé par l'équipe de Nitidae qui était sur les lieux lors des feux en novembre 2020.

3. Limites et perspectives

La cartographie d'occupation des sols dans la zone de projet nécessite d'être validée par des observations de terrain qui de plus permettraient un meilleur discernement des unités paysagères de la région. Le projet initial était de créer une cartographie historique mais la qualité des images Landsat antérieures a ralenti la production de ces cartes qui auraient constitué un outil solide d'interprétation des dynamiques paysagères, et notamment de comprendre l'évolution des zones de cultures dans la zone de projet, comme cela a pu être fait dans le travail de Caillault et al., 2012.

La carte d'occupation du sol permet de comprendre la disposition des cultures dans les cinq communes de la zone de projet, cependant, elle ne permet pas de différencier les zones de cultures arborées et sans arbres. Malgré plusieurs essais, la résolution de 30m des images Landsat semblait trop faible pour effectuer ce travail. Même si l'ensemble de la zone observée dispose de cultures parsemées d'arbres, cela aurait pu permettre de repérer les zones où l'agroforesterie est la plus développée, et les zones de collecte du karité (Gaud, 2018).

Une analyse des différentes variables de distances (distances aux villages, aux courts d'eau, zones de cultures...) comme ce qui a été produit dans le travail de Ouédraogo, 2019 pourrait compléter cette étude et apporter des éléments de compréhension du paysage supplémentaires.

Un travail centré sur l'élevage et le pâturage participerait à une meilleure compréhension du territoire et des pressions observées sur le paysage. L'observation du territoire à l'aide des images satellites de haute résolution pour la période actuelle et les images historiques ont révélé de nombreuses entrées de pâturage sur l'ensemble des aires protégées malgré les interdictions existantes. Ce travail pourrait comprendre une identification des zones de pâturages, des trajectoires de transhumance et les chemins d'entrées dans les aires protégées utilisés par les pasteurs. Ces paramètres sont observables par les méthodes de télédétections et de photo-interprétation, et pourraient être mis en relation avec l'observation des feux, pour mieux interpréter et comprendre le rôle des éleveurs et des pasteurs dans la dynamique des feux et le lien avec la dégradation ou l'entretien des terres (Rullier & Hemingway, 2021 ; Rakotoarimanana & Grouzis, 2008).

La dynamique des feux dans la région a fortement évolué entre 2000 et 2020. Les surfaces brûlées sur l'ensemble des cinq communes ont fortement diminué. L'origine du ralentissement des feux dans les zones non-protégées peut être liée à l'expansion des zones de cultures et l'abandon progressif du modèle de rotation des jachères pour une agriculture plus intensive (Caillault et al, 2012), mais est également combinée à l'interdiction d'utiliser les feux dans les zones rurales, ordonnée par les autorités.

Conclusion :

De nombreux facteurs d'origines diverses influent sur le paysage du complexe PONASI, une petite partie a été étudiée à travers ce travail pour tenter de comprendre et d'expliquer les dynamiques présentes sur le territoire. Les aires protégées du complexe PONASI sont caractérisées par des évolutions d'occupation du sol différentes. Certaines d'entre-elles sont peu à peu envahies par les zones de cultures, notamment les forêts classées du Nazinon et de la Sissili, mais aussi les UAFs et les ZOVICs. Le PNKT et la forêt classée et le ranch de Nazinga semblent pour l'instant résister à cette dynamique même si les cultures se rapprochent progressivement de leurs bordures, et plusieurs zones et entrées de pâturage ont pu être observées. Ces dynamiques témoignent de la saturation du foncier agricole engendrés par une évolution démographique importante (Caillault et al., 2012). L'impact du pâturage sur la végétation doit être étudié, et n'est pas forcément synonyme de dégradation (Gaud, 2018). L'approche utilisée lors de ce travail d'analyse des dynamiques spatiales propose de nouveaux outils pour contribuer au suivi des terres dans la zone du projet PONASI / Wakanda. La cartographie d'occupation du sol permet de comprendre l'utilisation des terres dans la région et peut servir d'outil pour les futurs projets d'aménagements. Cette approche des indicateurs sur les changements du territoire est innovante pour Nitidae, en particulier les indicateurs qui permettent d'observer les dynamiques des feux. L'analyse de la dynamique des feux mérite d'être approfondie pour établir des liens de compréhension plus pertinents, et comprendre les régimes de feux dans la zone du projet. La région présente une forte dynamique d'évolution des feux autant par la diminution des surfaces brûlées depuis 2000 que par l'évolution de la fréquence des feux dans les différentes zones d'intérêts. Le lien entre la productivité végétale et l'évolution des feux n'est pas évident à observer mais l'analyse de l'impact des feux sur l'écosystème semble aujourd'hui incontournable pour orienter les projets d'aménagement et de développement (Afelu et al., 2016). Enfin, la production d'une cartographie historique d'occupation du sol permettra de compléter l'analyse des changements sur le paysage.

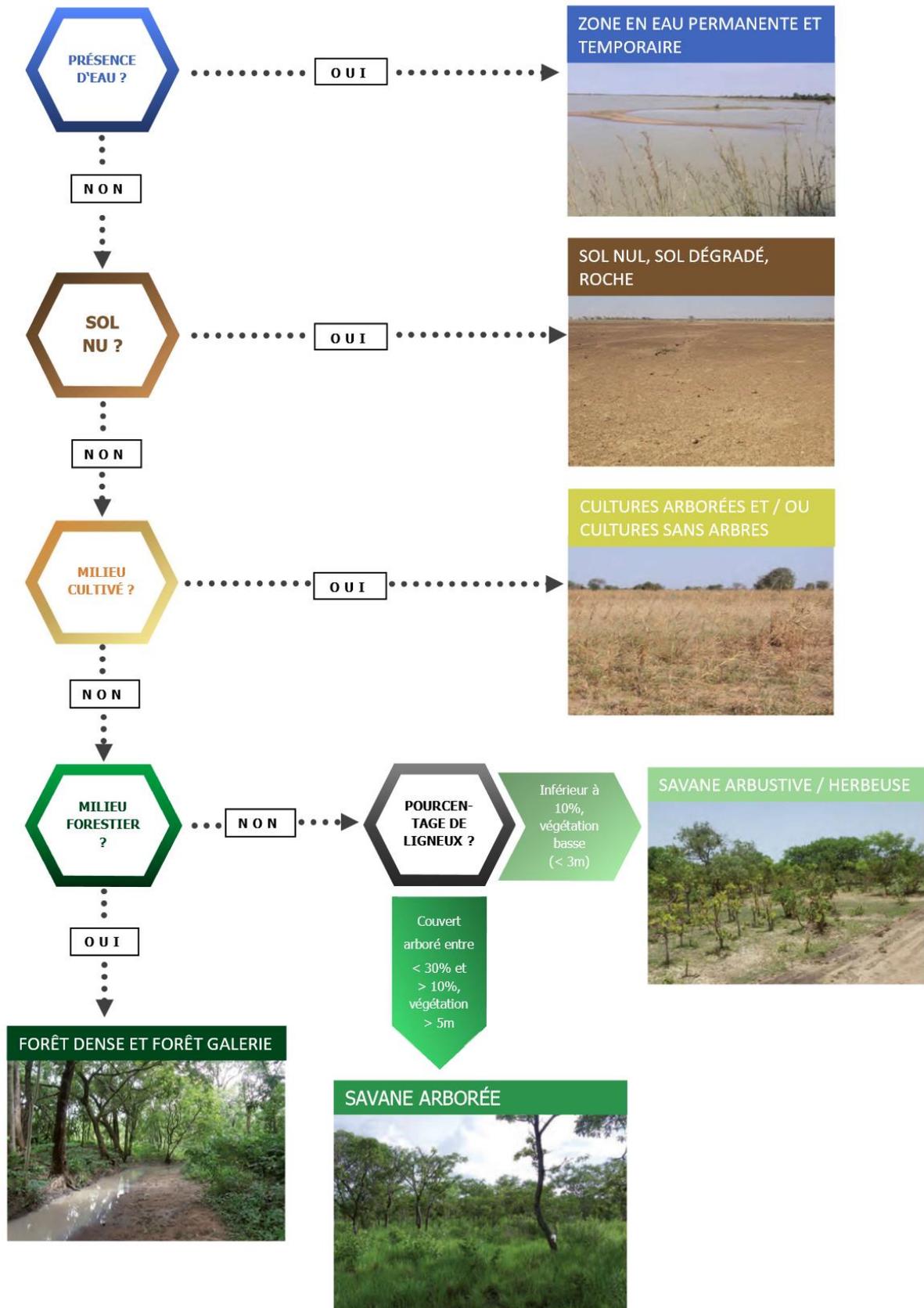
Annexes :

Nom	Définition	Autorité compétente	Règles
ZOVICs (Zone Villageoise d'intérêt Cynégétique)	Partie du terroir d'une communauté de base affectée par elle à l'exploitation des ressources cynégétiques. (Article 99 du Code Forestier). Espaces reconnus au niveau local par un arrêté communal. La concession de ZOVIC est accordée pour une durée minimum de cinq an et maximum 10 (article 14 du Code Forestier). Contrôles réguliers par l'administration forestière (article 17 du code forestier).	La communauté d'appartenance de la ZOVIC, représentée par le chef coutumier.	Les activités autorisées à l'intérieur des zones villageoises d'intérêt cynégétique sont déterminées par les communautés de base avec l'assistance des services techniques locaux chargés de la faune. La chasse du gros gibier est interdite dans les zones villageoises d'intérêt cynégétique.
PNKT (Parc National Kaboré Tambi)	Un parc national est une partie du territoire national classée au nom de l'Etat en vue de la conservation de la flore, de la faune, des eaux, des sols, des paysages ou des formations géologiques ayant une valeur scientifique ou esthétique. » (Article 85 du Code forestier). Forêt classée au régime d'usage très restrictif afin de constituer des zones de refuge pour la biodiversité animale.	L'Etat	Aucun usage ou valorisation du tourisme de vision seul. Activités interdites : pâturage, le défrichement, le dépôt des déchets, les activités polluantes, la chasse, l'exploitation agricole forestière ou minière. Par contre, la pêche peut être autorisée par les plans d'aménagement.
Ranch de Nazinga	"Un ranch de faune est une aire ouverte ou non, spécialement aménagée pour l'élevage d'animaux sauvages" article 98, Code forestier 2011). Les ranchs publics sont obligatoirement classés au nom de l'Etat ou au nom des collectivités territoriales. Le classement se fait par décret pris en Conseil des ministres pour les ranchs de l'Etat et par arrêté des autorités en charge des collectivités territoriales après avis du ministre chargé de la faune pour ceux des collectivités territoriales. Les ranchs privés se créent librement dans le respect de la réglementation en vigueur.	Etat ou privé (Nazinga : privé /Bassono).	Ce qui est interdit : " le pâturage, les défrichements, l'exploitation agricole, forestière ou minière, le dépôt des déchets, les activités polluantes, les feux incontrôlés et, en général, tout acte incompatible avec la conservation et la protection du milieu considéré" (article 96, Code forestier 2011) Aires de protection faunique (article 79). La chasse est autorisée (pour cette catégorie de réserve) pour les espèces non protégées, dans le respect des règles générales de la chasse.
Forêts classées (Nazinon et Sissili)	Il s'agit de forêts ayant fait l'objet d'un classement soit au nom de l'Etat, soit au nom des Collectivités Territoriales (art 26 code forestier). Le classement permet en raison de l'importance qu'une forêt présente pour l'intérêt général, de soumettre celle-ci à un régime spécial restrictif concernant l'exercice des droits d'usage et les régimes d'exploitation. Si elles font l'objet de plan d'aménagements forestiers on parlera alors de CAF (ci-dessous).	Les forêts publiques sont classées ou protégées. Elles peuvent être classées au niveau de l'Etat ou de la collectivité territoriale	Ce qui est autorisé : droits d'usage traditionnels reconnus au profit des populations riveraines (article 56) : ramassage du bois mort gisant, cueillette des fruits et récolte des plantes médicinales.
CAF (Chantier d'Aménagement Forestier)	Entité technique et administrative comprenant un ou plusieurs massifs forestiers administrés par la même structure de direction selon les prescriptions d'un plan d'aménagement forestier. Le CAF est constitué d'unités d'aménagement forestier (UAF) qui comprennent à leur tour un certain nombre de parcelles soumises à un même mode de traitement sylvicole et aux mêmes règles de gestion (c'est une portion de forêt subdivisée en parcelles dont le nombre correspond à la durée de rotation). L'UAF est gérée par un ou plusieurs groupements villageois de gestion forestière (GGF). Le Cahier de Charges du CAF notifie que l'objectif de la gestion est de contribuer à l'exploitation rationnelle et durable des ressources forestières par les communautés villageoises riveraines organisées en Groupements de Gestion Forestière (GVGF) en vue de ravitailler les grands centres urbains et les autres localités en produits forestiers. Les CAF peuvent être constituées de forêt classée (cas de la Forêt classée de Nazinon qui est une CAF apparemment. Cela pourrait expliquer le fait que la forêt classée de Nazinon semble à moitié « disparue » donc peut-être une CAF pour reboiser ?)	Il nous reste des interrogations sur les autorités en charge de la gestion de ces espaces. Cela peut être des exploitants privés, ou les villages alentours.	Cela dépend de ce qu'il y a dans le plan d'aménagement forestier. Est autorisé :

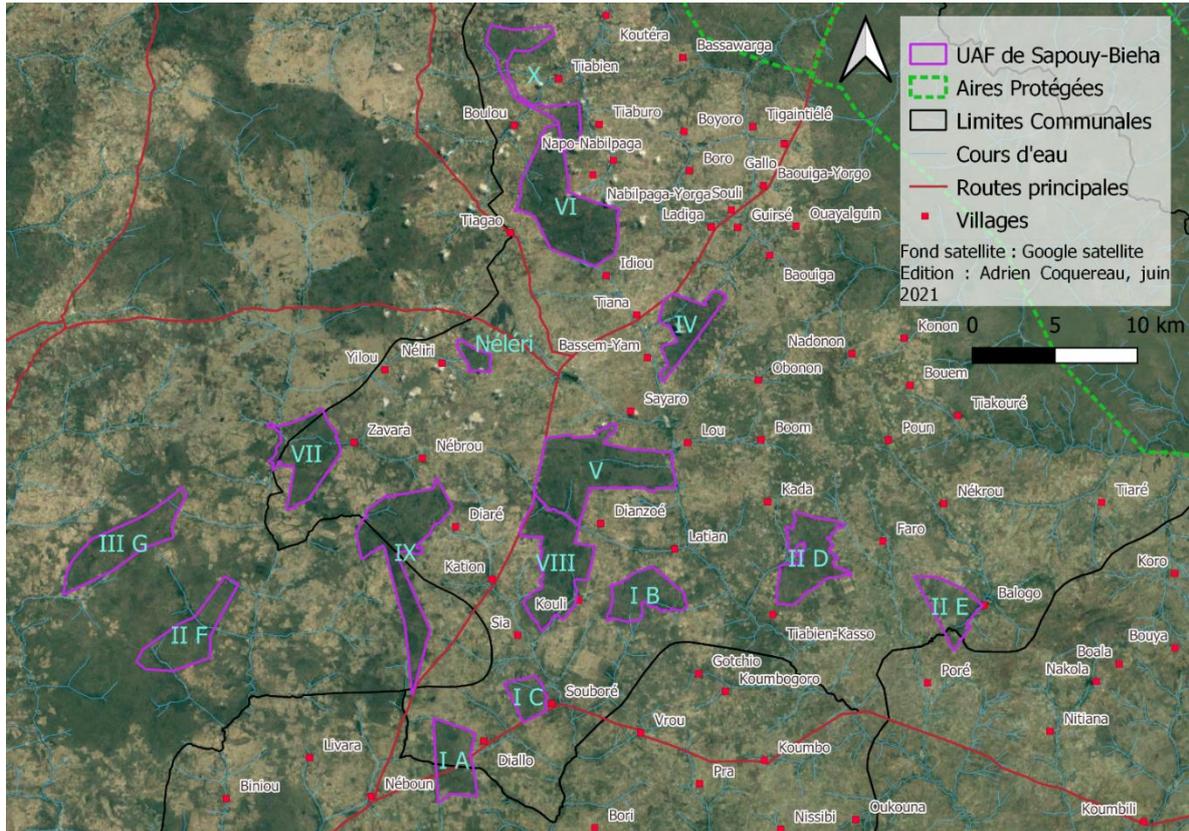
Annexe 1 : Résumé du statut des aires protégées.

Type	Nom de la Variable	Définition	Sources	Résolution spatiale
Climatique	Précipitation	Moyenne des précipitation	CHIRPS	0.05°
	Température	Moyenne des températures	CRU	0.5°
	Global surface water	Distribution spatiale et temporelle des surfaces en eau	EJCR	30m
Contraintes naturelles	Altitude	Altitude (mètres)	ALOS DSM	30m
Demographie	Population Facebook	Densité de population mondiale	Facebook Connectivity Lab	30m
	Gridded Population Of the World (GPW)	Distribution de la population mondiale	NASA	1km
Végétation	Global Forest Canopy Height	Hauteur de canopée (mètres)	GLAD	30m
	Hansen Global Forest Change	Etendue et changement des forêts mondiales	GLAD	30m
Feux	MCD64A1	MODIS/Terra+ Aqua Burned Area	NASA	500m
Indices		Formule	Références	
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – Vegetation spectral enhancement		$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$	Rouse et al., 1974	
NDWI (Normalized Difference Water Index) – Water spectral enhancement		$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$	Gao, 1996	
NDBR (Normalized Difference Burned		$NDBR = (NIR - SWIR) / (NIR +$	Keeley, J. E. (2009).	

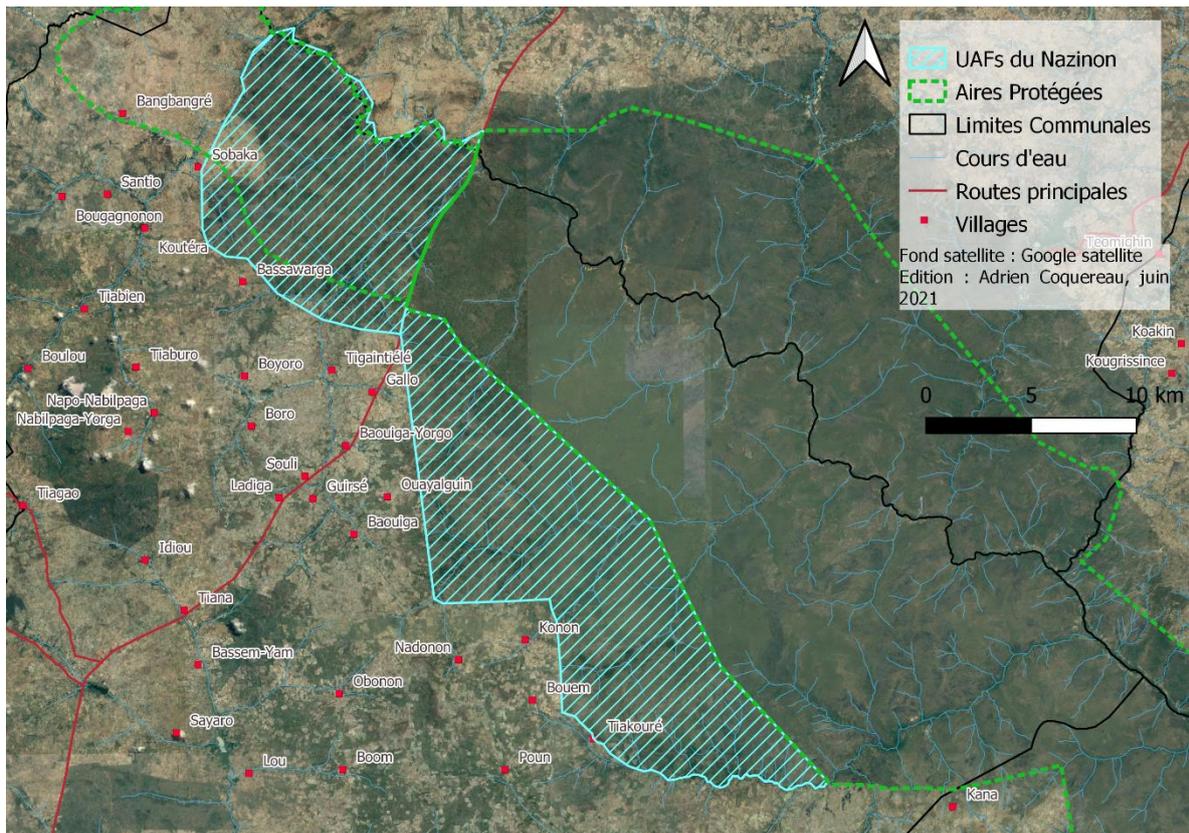
Annexe 2 : Base de données acquises lors de la phase d'acquisition des données, et résumé des indices spectraux.



Annexe 3 : Arbre de décision utilisé pour la méthode de cartographie d'occupation du sol.



Annexe 4 : Carte des UAFs de Sapouy-Bieha et leurs noms



Annexe 5 : Carte des UAFs du Nazinon

Bibliographie :

1. Articles, revues, ouvrages

- Afelu, B., Fontodji, K. J., & Kokou, K. (2016). Impact des feux sur la biomasse dans les savanes guinéo-soudaniennes du Togo. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 16 Numéro 1, Article Volume 16 Numéro 1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.17106>
- Atlas des cartes d'occupation du sol | CARI. (2015). <http://www.cariassociation.org/Publications/Atlas-des-cartes-d-occupation-du-sol3>
- Ballouche, A. (2019). Fire-prone Landscapes in the West African savanna. Present-day dynamics and historical roots. In *Of trees, grasses and crops – Man and vegetation change in sub-Saharan Africa and beyond*, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02447185>
- BEGE. (2005, mars). *Etudes de base en vue de l'élaboration du plan d'aménagement et de gestion du parc national de Pô dit Parc National Kaboré Tambi (PNKT) et sa périphérie*.
- Bictogo, I. (2010). *Les transformations actuelles de l'agriculture : Cas du village de Koumbili : Diagnostic agraire en zone cotonnière de Koumbili (région du Centre-Sud)*. (p. 62) [Rapport de stage]. Université polytechnique de Bobodioulasso. https://www.memoireonline.com/11/13/7859/m_Les-transformation-actuelles-de-l-agriculture-cas-du-village-de-Koumbili-au-Burkina-Faso0.html
- Bockel, L. (2020). *Développement de la filière karité : Principal moteur pro-pauvre de fixation du carbone en Afrique de l'Ouest*. FAO and Global Shea Alliance. <http://www.fao.org/publications/card/fr/c/CA7406FR/>
- Botoni, E., Larwanou, M., & Reij, C. (2013). La régénération naturelle assistée (RNA) : Une opportunité pour reverdir le Sahel et réduire la vulnérabilité des populations rurales. In A. Dia & R. Duponnois (Éds.), *Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte: Concepts et mise en œuvre* (p. 151-162). IRD Éditions. <http://books.openedition.org/irdeditions/2122>
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- OSS, «Burkina Faso : Atlas des cartes d'occupation du sol» (Observatoire du Sahara et du Sahel). (2015).
- Caillaud, S., Ballouche, A., & Delahaye, D. (2012). Vers la disparition des brousses? Analyse multi-scalaire de la dynamique des paysages à l'ouest du Burkina Faso depuis 1952. *Cybergeo : European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.25264>
- Demont, M., Jouve, P., Stessens, J., & Tollens, E. (2007). *Démographie et évolution des exploitations agricoles : Analyse selon les théories de Malthus et de Boserup en Côte d'Ivoire* (p. 59-68).
- Devetakov, H., Le Guay, S., Norman, A., Reboud, A., & Petit de la Rhodière, P. (2021). *Aménagement intégré du corridor écologique Nazinga—Parc National Kaboré Tambi* (p. 52). AgroParisTech, Nitidae.
- Devineau, J.-L., Fournier, A., & Nignan, S. (2010). Savanna fire regimes assessment with MODIS fire data : Their relationship to land cover and plant species distribution in western Burkina Faso (West Africa). *Journal of Arid Environments*, 74(9), 1092-1101. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.03.009>
- Díaz, S., Quétier, F., Cáceres, D. M., Trainor, S. F., Pérez-Harguindeguy, N., Bret-Harte, M. S., Finegan, B., Peña-Claros, M., & Poorter, L. (2011). Linking functional diversity and social actor strategies in a framework for interdisciplinary analysis of nature's benefits to society. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(3), 895-902. <https://doi.org/10.1073/pnas.1017993108>

- Dolidon, H. (2007). La multiplicité des échelles dans l'analyse d'un phénomène d'interface nature/société. L'exemple des feux de brousse en Afrique de l'ouest. *Cybergeo: European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.4805>
- Ftaïta, T., Demazoin, R., Traoré, B., & Lacombe, B.-G. (2007). *Le karité et le néré : Deux arbres des jachères. Propriété masculine et travail féminin au Burkina Faso*. L'Harmattan. <https://www.decitre.fr/livres/le-karite-et-le-nere-deux-arbres-des-jacheres-9782296023741.html>
- Grinand, C., Rakotomalala, F., Gond, V., Vaudry, R., Bernoux, M., & Vieilledent, G. (2013). Estimating deforestation in tropical humid and dry forests in Madagascar from 2000 to 2010 using multi-date Landsat satellite images and the random forests classifier. *Remote Sensing of Environment*, 139, 68-80. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.07.008>
- Laris, P., & Bakkoury, A. (2008). *Nouvelles leçons d'une vieille pratique : Mosaïque du feu dans la savane du Mali* | *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*. 296. <https://doi.org/10.19182/bft2008.296.a20385>
- Monfort, F., Bégué, A., Leroux, L., Blanc, L., Gond, V., Cambule, A. H., Remane, I. A. D., & Grinand, C. (2020). *From land productivity trends to land degradation assessment in Mozambique : Effects of climate, human activities and stakeholder definitions*. 17. <https://doi.org/10.1002/ldr.3704>
- Montfort, F., & Grinand, C. (2020). *Land Use and Land Cover Map of Ribaue Mountains (Mount Ribaue and Mount M'paluwe)*. 12.
- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, 325(5939), 419-422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Ouedraogo, Pingdewendé C. (2019). *Caractérisation des facteurs de l'évolution des modes d'utilisation des terres autour du corridor n°1 du complexe PONASI* (p. 116) [Mémoire de Master]. UNIVERSITE OUAGA I, PR JOSEPH KI-ZERBO.
- Ouedraogo, L. T., & Tallet, B. (2014). L'emploi des jeunes ruraux : Entrepreneuriat agricole et création d'emplois dans le sud du Burkina Faso. *Autrepart*, N° 71(3), 119-133.
- Ouedraogo, M., Dembélé, Y., & Leopold, S. (2010). Perception et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : Cas des paysans du Burkina Faso. *sciences et changements planétaires / secheresse*, 21, 87-96. <https://doi.org/10.12895/jaeid.20121.43>
- Picouet, M., Boissau, S., Brun, B., Romagny, B., Rossi, G., Sghaier, M., & Jacques, W. (2004). *Le renouvellement des théories population-environnement*.
- Pollini, J. (2011). *Understanding Agricultural Intensification on a Forest Frontier in Madagascar: Elements of a Malthusian/Boserupian synthesis*.
- Rakotoarimanana, V., & Grouzis, M. (2008). Effets à court terme du feu et du pâturage sur la qualité fourragère d'une savane à *Heteropogon contortus* du sud-ouest de Madagascar. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 61(2), 81-88. <https://doi.org/10.19182/remvt.10003>
- Rullier, N., & Hemingway, C. (2021). *Diagnostic des dynamiques territoriales (en cours)*. Nitidae.
- Sanon, H. O., Savadogo, M., Tamboura, H. H., & Kanwé, B. A. (2014). Caractérisation des systèmes de production et des ressources fourragères dans un terroir test de la zone soudanienne du Burkina Faso. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 14 Numéro 2, Article Volume 14 Numéro 2. <https://doi.org/10.4000/vertigo.15171>

- Schoon, M., & Leeuw, S. V. der. (2015). The shift toward social-ecological systems perspectives: Insights into the human-nature relationship. *Natures Sciences Societes*, Vol. 23(2), 166-174.
- Serpantié, G., Bayala, J., Helmfrid, S., & Lamien, N. (1996). *Pratiques et enjeux de la culture du karité (Butyrospermum paradoxum Gaertn. F. Hepper) dans l'Ouest du Burkina Faso*. 16.
- Serpantié, G., & Devineau, J.-L. (1993). *Le programme « interrelations systèmes écologiques-systèmes de culture en zone soudanienne (ouest-burkinabé) » : Projet scientifique*. 10.
- Tiendrebeogo, M., Bamna, D., Pedabga, A., & Goungounga, J. (2019). *Fiche descriptive Ramsar, Burkina Faso, Complexe d'Aires Protégées Pô-Nazinga-Sissili*. Ramsar. <https://rsis.ramsar.org/fr/ris/2366?language=fr>
- Yaméogo, G., Yélémo, B., & Traoré, D. (2005). Pratique et perception paysannes dans la création de parc agroforestier dans le terroir de Vipalogo (Burkina Faso). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 8.
- Yaméogo, U. G. (2005). *Le feu, un outil d'ingénierie écologique au ranch de gibier de Nazinga au Burkina Faso* (Centre IRD de Bondy; p. 14 p. + 268 p. multigr.) [Université d'Orléans]. <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010070768>

2. Sites :

Calendrier cultural FAO. (s. d.). Consulté 1 juin 2021, à l'adresse :

<http://www.fao.org/agriculture/seed/cropcalendar/locale.do?pagename=%2Fwelcome.do&language=fr>

WAKANDA Landscape (West African Knowledge for Agriculture, Nature and Development Activities)—Gestion participative du développement durable en périphérie des aires protégées du paysage PONASI. (s. d.). Nitidæ.

Consulté 15 juin 2021, à l'adresse <https://www.nitidae.org/actions/wakanda-landscape-west-african-knowledge-for-agriculture-nature-and-development-activities-gestion-participative-du-developpement-durable-en-peripherie-des-aires-protégees-du-paysage-ponasi>

3. Données :

Base de Données d'Occupation des Terres, Burkina Faso (BDOT). (2012). Institut Géographique du Burkina.

Copernicus Climate Change Service (C3S) (2017): ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), (date of access), <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>

Didan, K. (2015). MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2021-06-15 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>

Facebook Connectivity Lab and Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University. 2016. High Resolution Settlement Layer (HRSL). Source imagery for HRSL © 2016 DigitalGlobe. Accessed DAY MONTH YEAR.

Funk, Chris, Pete Peterson, Martin Landsfeld, Diego Pedreros, James Verdin, Shraddhanand Shukla, Gregory Husak, James Rowland, Laura Harrison, Andrew Hoell & Joel Michaelsen. "The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes". *Scientific Data* 2, 150066. [doi:10.1038/sdata.2015.66](https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66) 2015.

Giglio, L., Justice, C., Boschetti, L., Roy, D. (2015). MCD64A1 MODIS/Terra+Aqua Burned Area Monthly L3 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2021-06-15 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD64A1.006>

Liste des abréviations :

AP : Aire Protégée

CAF : Chantier d'Aménagement Forestier

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

PNKT : Parc National Kaboré Tambi

PONASI : Pô-Nazinga-Sissili

RNA : Régénération Naturelle Assistée

UAF : Unité d'Aménagement Forestier

ZOVIC : Zone Villageoise d'Intérêt Cynégétique

Table des illustrations :

Figure 1 : Carte de présentation de la zone d'étude.....	6
Figure 2 : Diagramme ombrothermique des moyennes mensuelles climatiques sur la zone d'étude dans la période 2000 et 2020 (Sources des données : CHIRPS / ECMWF).....	9
Figure 3 : Schéma résumant les hypothèses de changement du paysage.	11
Figure 4 : Typologie de la cartographie d'occupation du sol 2020.....	16
Figure 5 : Schéma résumant la méthode de cartographie d'occupation du sol. (Adapté de Grinand et al., 2013 et Montfort et al., 2020).....	17
Figure 6 : Schéma résumant la méthode d'analyse des changements de productivité de la végétation et des facteurs sous-jacents (adapté de Monfort et al. 2020).	19
Figure 7 : Carte d'occupation du sol 2020.	21
Figure 8 : Histogramme de la proportionnalité des classes d'occupation du sol entre les différentes zones d'intérêts en 2020.....	24
Figure 9 : Histogramme de la répartition en hectares des classes d'occupation du sol dans les cinq communes.	24

Figure 10 : Histogramme sur la proportionnalité des classes d'occupation du sol entre les différentes aires protégées en 2020.	25
Figure 11 : Carte des changements de productivité végétale entre 2001 et 2019.	26
Figure 12 : Carte des facteurs humains d'augmentation de la productivité végétale dans la zone d'étude sur la période 2001-2019.	27
Figure 13 : Histogramme en hectares des différents facteurs humains d'augmentation de la biomasse végétale dans les cinq communes.	29
Figure 14 : Carte des facteurs humains de diminution de la productivité végétale.	30
Figure 15 : Histogramme zonal de la surface des facteurs de diminutions de productivité végétale par communes.	31
Figure 16 : Cartes des surfaces brûlées et du degré de précocité des feux pour les saisons 2000, 2005, 2010, 2015 et 2020.	32
Figure 17 : Histogrammes de l'évolution des feux entre 2000 et 2020 dans a) Les ZOVICES, b) l'UAF de Sapouy-Bieha, c) L'UAF du Nazinon. Les données correspondent à une moyenne effectuée sur des périodes de trois ans.	33
Figure 18 : Histogrammes de l'évolution des feux dans la zone d'étude sur la période 2000-2020. Les données correspondent à une moyenne effectuée sur des périodes de trois ans.	33
Figure 19 : Carte de la fréquence des feux sur la période 2000 – 2010.	34
Figure 20 : Carte de la fréquence des feux sur la période 2010 – 2020.	34
Figure 21 : Carte de l'évolution de la fréquence des feux entre les périodes 2000-2010 et 2010-2020 (augmentation = >0, diminution = <0, stable = 0).	35
Figure 22 : Histogramme zonal résumant l'évolution de la fréquence des feux dans les aires protégées entre les périodes 2000-2010 et 2010-2020	35
Figure 23 : Carte du croisement entre l'augmentation de la productivité végétale et la dynamique des feux. ..	36
Figure 24 : Graphiques sur la proportion des surfaces issues du croisement entre l'évolution de la productivité végétale et l'évolution de la fréquence des feux.	37
Figure 25 : Carte du croisement entre la diminution de la productivité végétale et la dynamique des feux.	37
Figure 26 : Support pour la proposition d'analyse du paysage. Etude de cas autour du village de Gallo au nord de Sapouy.	40

Table des tableaux :

Tableau 1 : Description des parcelles appliquées lors de la classification d'occupation du sol 2020.	22
Tableau 2 : Résumé des classes d'occupation du sol en 2020 dans les différentes zones d'intérêts.	23
Tableau 3 : Résumé des facteurs d'augmentation de la biomasse végétale dans la zone d'étude.	27
Tableau 4 : Résumé des facteurs humains d'augmentation de la productivité végétale par communes.	29
Tableau 5 : Résumé des facteurs humains de diminution de la productivité végétale dans la zone d'étude.	30

RÉSUMÉ

Au Burkina Faso, le complexe des aires protégées PONASI (Pô, Nazinga, Sissili) est une des dernières grandes zones d'écosystèmes de forêt-savanes préservées du pays. L'association Nitidae y mène plusieurs projets alliant préservation de l'environnement et renforcement des économies locales, et a pour objectif de réaliser un diagnostic de cette zone de projet. Cette région connaît de nombreux changements qui modifient ses paysages de savanes. Plusieurs facteurs de changement du paysage ont été identifiés et trois indicateurs ont été étudiés plus en détail dans cette étude : L'occupation du sol, la productivité de biomasse végétale et les feux.

Une majeure partie de ce travail a concerné la collecte, le traitement et la production de données spatiales. Après avoir détaillé les différentes méthodes de télédétection par images satellites, et expliqué les résultats, ce travail propose une analyse des changements de paysages depuis les données produites et l'application qu'il est possible d'en faire dans les projets d'aménagement de Nitidae. Enfin plusieurs perspectives sont proposées pour continuer ce travail et améliorer la compréhension du paysage du complexe PONASI.

Mots-clés : Burkina-Faso, Télédétection, Paysage, Savanes, Occupation du sol, Productivité de biomasse végétale, feux.

ABSTRACT

In Burkina Faso, the protected area complex PONASI (Pô, Nazinga, Sissili) is one of the last protected forest-savanna ecosystems. There, the association Nitidae is carrying out various projects which combine environmental preservation and shall strengthen local economies. Its aim is to accomplish a diagnosis of this project area as the mentioned region is undergoing numerous transitions leading to a modified savannah landscape. A number of factors determining the change in landscape have been identified, of which three indicators are further examined in this study: the use of land, the productivity of plant biomass and fires. A significant part of this work deals with the collection processing and production spatial data. After having elaborated different remote sensing methods using satellite images and having clarified the results, this work proposes an analysis of changes in landscape from the produced data as well as a possible application for Nitidae's development projects. Finally, several perspectives are introduced on how to continue this work and improve the understanding of the landscape within the PONASI complex.

Keywords : Burkina-Faso, Remote sensing, landscape, savannah, Land-Use, Land-Cover, vegetation biomass, fire.

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné(e) **Adrien Coquereau**
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une
partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet,
constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.
En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées
pour écrire ce rapport ou mémoire.

signé par l'étudiant(e) le **15 / 06 / 2021**

**Cet engagement de non plagiat doit être signé et joint
à tous les rapports, dossiers, mémoires.**

Présidence de l'université
40 rue de rennes – BP 73532
49035 Angers cedex
Tél. 02 41 96 23 23 | Fax 02 41 96 23 00

