



**HAL**  
open science

# Identification des processus d'évolution du couvert forestier à l'échelle d'un territoire : cas des départements de Madre de Dios (Pérou) et de Guaviare (Colombie)

Clarisse Vautrin

## ► To cite this version:

Clarisse Vautrin. Identification des processus d'évolution du couvert forestier à l'échelle d'un territoire : cas des départements de Madre de Dios (Pérou) et de Guaviare (Colombie). Sciences de l'environnement. 2022. dumas-04009863

**HAL Id: dumas-04009863**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04009863v1>**

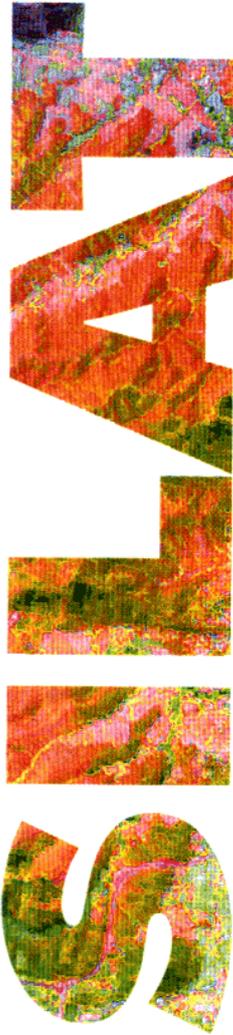
Submitted on 1 Mar 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



# Identification des processus d'évolution du couvert forestier à l'échelle d'un territoire

*Cas des départements de Madre de Dios  
(Pérou) et de Guaviare (Colombie)*

*Clarisse Vautrin*

MANAGER  
DE  
PROJETS  
GEOMATIQUES

Directeur et directrice du projet :

Lilian Blanc et Julie Betbeder (Cirad)

Tuteur SILAT :

Jean-Baptiste Feret (UMR-TETIS, INRAE Montpellier)

Rapporteurs :

Samuel Alleaume (TETIS)

Philippe Lemoisson (TETIS)

09 2022

AgroParisTech 

Maison de la Télédétection en  
Languedoc-Roussillon  
500, rue Jean-François Breton  
F- 34093 MONTPELLIER CEDEX  
Tel +33(0)4 67 54 87 60

 **TerrAmaz**  
Territoires Amazoniens

 **cirad**

MASTERE SPECIALISE DE LA CONFERENCE DES GRANDES ECOLES



L'établissement AgroParisTech diffuse ce mémoire et se dégage de toute responsabilité sur le contenu proposé.

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition.

L'obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document doit être respectée selon la licence Creative Commons apposée

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation "Paternité – Pas d'utilisation commerciale – Pas de modification 4.0 France disponible en ligne : <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



## TABLE DES MATIERES

1	Lettre de mission.....	2
2	Introduction .....	10
2.1	Contexte, projet TerrAmaz et définition du sujet de thèse professionnelle .....	10
2.2	Gestion du projet .....	11
2.3	Processus d'évolution du couvert forestier : quelques éléments d'état de l'art.....	12
3	Méthodologie.....	14
3.1	Sites d'études.....	14
3.2	Phasage du projet et outils .....	15
3.3	Données et traitements .....	16
4	Résultats.....	21
4.1	Axe 1 : Analyse de la dynamique spatio-temporelle des processus .....	21
4.2	Axe 2 : Analyse des causes des processus .....	23
4.3	Axe 3 : Analyse des relations entre les processus.....	24
5	Interprétations des résultats.....	25
5.1	Axe 1 : Analyse de la dynamique spatiale et temporelle des processus .....	25
5.2	Axe 2 : Analyse des causes à l'origine des processus.....	27
5.3	Axe 3 : Analyse des relations entre les processus.....	28
6	Discussion.....	29
7	Conclusion et perspectives .....	31
8	Remerciements.....	32
9	Bibliographie .....	33
10	Annexes.....	35
11	Illustration .....	114
12	Résumé et mots clés .....	115
12.1	Langue française .....	115
12.2	Langue anglaise.....	115

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des 5 territoires du projet TerrAmaz .....	14
Figure 2 : Planning du projet.....	15
Figure 3 : Carte de l'état du couvert forestier en 2020 à Madre de Dios (3A) et à Guaviare (3B) .....	22
Figure 4 : Évolution des processus de déforestation nette, de dégradation et de régénération, sur la période 1982 – 2020 à Madre de Dios (4A) et à Guaviare (4B).....	22
Figure 5 : Détection des changements des processus de déforestation nette et de dégradation, sur la période 1983 – 2020 à Madre de Dios (5A) et à Guaviare (5B) .....	22
Figure 6 : Déforestation et dégradation : part des processus sur des surfaces sur lesquelles le feu a été enregistré par rapport aux processus totaux, à Madre de Dios (6a) et à Guaviare (6b) .....	23
Figure 7 : Historique et évolution de la surface dégradée en 2000, à Madre de Dios et Guaviare.....	25
Figure 8 : Historique de la surface déforestée en 2018, à Madre de Dios et Guaviare .....	25
Figure 9 : Carte de l'état initial (1982) de Madre de Dios (A) et de Guaviare (B) .....	35
Figure 10 : Évolution de la déforestation brute et déforestation nette sur la période 1982 à 2020, à Madre de Dios (A) et à Guaviare (B).....	39
Figure 11 : Évolution des processus sur la période 1982 – 2020 : comparaison entre les deux départements : comparaison des trois processus (A) et comparaison de la déforestation brute et déforestation nette (B)..	41
Figure 12 : Événements successifs de dégradation – Madre de Dios.....	42
Figure 13 : Surfaces dégradées en fonction du nombre d'événements de dégradation – Madre de Dios.....	42
Figure 14 : Événements successifs de dégradation – Guaviare .....	43
Figure 15 : Surfaces dégradées en fonction du nombre d'événements de dégradation – Guaviare .....	43
Figure 16 : Événements successifs de dégradation : comparaison des deux départements .....	44
Figure 17 : Proportion de surfaces dégradées en fonction du nombre d'événements de dégradation : comparaison des deux départements .....	44
Figure 18 : Dégradation totale et événements de dégradation : comparaison des deux départements .....	44
Figure 19 : Carte de l'année d'observation de la déforestation – Madre de Dios.....	45
Figure 20 : Observation de la déforestation : surfaces déforestées par année – Madre de Dios .....	45
Figure 21 : Carte de l'année d'observation de la déforestation – Guaviare.....	46
Figure 22 : Observation de la déforestation : surfaces déforestées par année – Guaviare .....	46
Figure 23 : Observation de la déforestation : surfaces déforestées par année : comparaison des deux départements.....	47
Figure 24 : Carte de l'année d'observation du premier événement de dégradation – Madre de Dios .....	48
Figure 25 : Observation du premier événement de dégradation : surfaces dégradées par année – Madre de Dios .....	48
Figure 26 : Carte de l'année d'observation du premier événement de dégradation – Guaviare.....	49
Figure 27 : Observation du premier événement de dégradation : surfaces dégradées par année – Guaviare .....	49
Figure 28 : Observation du premier événement de dégradation : surfaces dégradées par année : comparaison des deux départements .....	50
Figure 29 : Surfaces concernées par le feu selon les données de GLAD – Madre de Dios .....	51

Figure 30 : Surfaces concernées par le feu selon les données de GLAD – Guaviare .....	52
Figure 31 : Surfaces concernées par le feu selon les données de GLAD : comparaison des deux départements.....	53
Figure 32 : Carte : détail de surfaces concernées par le feu selon les données de GLAD – Guaviare .....	54
Figure 33 : Carte : détail des surfaces déforestées et dégradées concernées par le feu après reclassement – Guaviare .....	54
Figure 34 : Évolution des surfaces de déforestation nette à usage terrestre : causes diverses et présence de feux – Madre de Dios .....	55
Figure 35 : Évolution des surfaces dégradées : causes diverses et présence de feux – Madre de Dios.....	56
Figure 36 : Évolution des surfaces de déforestation nette : causes diverses et présence de feux – Guaviare.....	57
Figure 37 : Évolution des surfaces dégradées : causes diverses et présence de feux – Guaviare.....	57
Figure 38 : Carte du cadastre minier – Madre de Dios .....	58
Figure 39 : Évolution des trois processus dans la zone du cadastre minier – Madre de Dios .....	58
Figure 40 : Évolution des trois processus dans la zone du cadastre minier et dans la zone tampon de 300 mètres à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C).....	59
Figure 41 : Carte des communautés indigènes – Madre de Dios .....	60
Figure 42 : Évolution des trois processus dans les zones de communautés indigènes – Madre de Dios.....	60
Figure 43 : Évolution de la régénération dans les communautés natives et dans les zones tampon de 300 mètres et de 1 km à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C).....	61
Figure 44 : Carte des concessions de conservation – Madre de Dios.....	62
Figure 45 : Évolution des trois processus dans les concessions de conservation – Madre de Dios .....	62
Figure 46 : Carte des concessions d'écotourisme – Madre de Dios .....	63
Figure 47 : Évolution des trois processus dans des concessions d'écotourisme – Madre de Dios.....	63
Figure 48 : Carte des concessions de reboisement – Madre de Dios .....	64
Figure 49 : Évolution des trois processus dans les concessions de reboisement – Madre de Dios.....	64
Figure 50 : Carte des concessions forestières d'exploitation de bois – Madre de Dios .....	65
Figure 51 : Évolution des trois processus dans les concessions forestières d'exploitation de bois – Madre de Dios .....	65
Figure 52 : Carte des concessions d'exploitation de PFNL – Madre de Dios .....	66
Figure 53 : Évolution des trois processus dans les concessions d'exploitation de PFNL – Madre de Dios.....	66
Figure 54 : Carte des permis d'exploitation forestière – Madre de Dios.....	67
Figure 55 : Évolution des trois processus dans la zone des permis d'exploitation forestière – Madre de Dios .....	67
Figure 56 : Carte des zones agricoles – Madre de Dios .....	68
Figure 57 : Évolution des trois processus dans les zones agricoles – Madre de Dios.....	68
Figure 58 : Évolution de la régénération dans les zones agricole et la zone tampon de 300 mètres à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C) .....	69
Figure 59 : Carte du réseau routier principal – Madre de Dios .....	70
Figure 60 : Évolution des trois processus dans la zone tampon de 300 mètres autour du réseau routier principal – Madre de Dios .....	70

Figure 61 : Évolution de la régénération dans les zones tampon de 300 mètres et de 1 km autour du réseau routier principal à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C) .....	71
Figure 62 : Carte du réseau routier secondaire – Madre de Dios.....	72
Figure 63 : Évolution des trois processus dans la zone tampon de 300 mètres autour du réseau routier secondaire – Madre de Dios .....	72
Figure 64 : Évolution de la régénération dans les zones tampon de 300 mètres et de 1 km autour du réseau routier secondaire à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C) .....	73
Figure 65 : Évolution de la déforestation : comparaison des zones étudiées – Madre de Dios.....	74
Figure 66 : Déforestation – Moyennes par décennie : comparaison des zones étudiées – Madre de Dios....	74
Figure 67 : Évolution de la dégradation : comparaison des zones étudiées – Madre de Dios .....	75
Figure 68 : Dégradation – Moyennes par décennie : comparaison des zones étudiées – Madre de Dios.....	75
Figure 69 : Évolution de la régénération : comparaison des zones étudiées – Madre de Dios.....	76
Figure 70 : Régénération – Moyennes par décennie : comparaison des zones étudiées – Madre de Dios ....	76
Figure 71 : Carte des aires de restauration – Guaviare .....	77
Figure 72 : Évolution des trois processus dans les aires prioritaires de restauration – Guaviare .....	77
Figure 73 : Évolution des trois processus dans les aires de restauration DRMI – Guaviare .....	78
Figure 74 : Carte des aires protégées RUNAP – Guaviare.....	79
Figure 75 : Évolution des trois processus dans les aires protégées RUNAP – Guaviare .....	79
Figure 76 : Carte du zonage agricole – Guaviare .....	80
Figure 77 : Évolution des trois processus selon le zonage agricole à Guaviare : Forêts naturelles et zones sans agriculture (A), zones d'exclusions légales (B), zones agricoles (C) .....	81
Figure 78 : Carte des POMCA – Guaviare.....	82
Figure 79 : Évolution des trois processus dans les POMCA à Guaviare : Cano Grande (A), Médio Guaviare (B), Rio Unilia (C).....	83
Figure 80 : Carte des réserves indigènes et réserves paysannes – Guaviare .....	84
Figure 81 : Évolution des trois processus dans les réserves à Guaviare : réserves indigènes (A), réserves paysannes (B) .....	85
Figure 82 : Carte des UAPSS – Guaviare.....	86
Figure 83 : Évolution des trois processus dans les UAPSS à Guaviare : UAPSS El Capricho (A), UAPSS Nucleo La Cristalina (B), UAPSS Nucleo El Trinfo (C) .....	87
Figure 84 : Évolution de la déforestation à Guaviare : aires de restauration et aires protégées (A), zonage agricole (B), POMCA (C), réserves (D), UAPSS (E) .....	89
Figure 85 : Déforestation – Moyennes par décennie : comparaison des zones étudiées – Guaviare.....	89
Figure 86 : Évolution de la dégradation à Guaviare : aires de restauration et aires protégées (A), zonage agricole (B), POMCA (C), réserves (D), UAPSS (E) .....	91
Figure 87 : Dégradation – Moyennes par décennie : comparaison des zones étudiées – Guaviare .....	91
Figure 88 : Évolution de la régénération à Guaviare : aires de restauration et aires protégées (A), zonage agricole (B), POMCA (C), réserves (D), UAPSS (E) .....	93
Figure 89 : Régénération – Moyennes par décennie : comparaison des zones étudiées – Guaviare .....	93
Figure 90 : Patches de déforestation et zones tampons – Madre de Dios .....	94

Figure 91 : Patches de dégradation et zones tampons – Madre de Dios .....	94
Figure 92 : Zoom sur les patches de dégradation et zones tampons – Madre de Dios.....	95
Figure 93 : Localisation de la déforestation par rapport à la zone tampon de 180 m autour de la dégradation de la même année – Madre de Dios .....	97
Figure 94 : Localisation de la dégradation par rapport à la zone tampon de 30 m autour de la déforestation de la même année – Madre de Dios .....	97
Figure 95 : Localisation de la régénération par rapport à la zone tampon de 30 m autour de la déforestation 10 années plus tôt – Madre de Dios .....	98
Figure 96 : Localisation de la déforestation par rapport à la zone tampon de 180 m autour de la dégradation de la même année – Guaviare .....	98
Figure 97 : Localisation de la dégradation par rapport à la zone tampon de 30 m autour de la déforestation de la même année – Guaviare .....	99
Figure 98 : Localisation de la régénération par rapport à la déforestation 10 années plus tôt – Madre de Dios .....	99
Figure 99 : Historique et évolution des processus dans la zone de déforestation de 2018 – Madre de Dios .....	100
Figure 100 : Historique et évolution des processus dans la zone de déforestation de 2000 – Madre de Dios .....	100
Figure 101 : Historique et évolution des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de déforestation de 2018 à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C) .....	101
Figure 102 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de déforestation de 2000 à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C) .....	101
Figure 103 : Historique et évolution des processus dans la zone de dégradation de 2018 – Madre de Dios .....	102
Figure 104 : Historique et évolution des processus dans la zone de dégradation de 2000 – Madre de Dios .....	102
Figure 105 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de dégradation de 2018 à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C) .....	103
Figure 106 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de dégradation de 2000 à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C) .....	103
Figure 107 : Historique et évolution des processus dans la zone de déforestation de 2018 – Guaviare.....	104
Figure 108 : Historique et évolution des processus dans la zone de déforestation de 2000 – Guaviare.....	104
Figure 109 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de déforestation de 2018 à Guaviare : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C) .....	105
Figure 110 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de déforestation de 2000 à Guaviare : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C) .....	105
Figure 111 : Historique et évolution des processus dans la zone de dégradation de 2018 – Guaviare .....	106
Figure 112 : Historique et évolution des processus dans la zone de dégradation de 2000 – Guaviare .....	106
Figure 113 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de dégradation de 2018 à Guaviare : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C).....	107
Figure 114 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de dégradation de 2000 à Guaviare : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C).....	107

Figure 115 : Méthode de prétraitements .....	108
Figure 116 : Méthode axe 1 : graphiques et statistiques.....	109
Figure 117 : Méthode axe 1 : série d'événements de dégradation .....	110
Figure 118 : Méthode axe 2 : feux .....	111
Figure 119 : Méthode axe 2 : analyse de sous-régions du territoire .....	112
Figure 120 : Méthode axe 3 : relations entre les processus .....	113

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Statistiques d'occupation des sols dans les deux départements (surfaces en km <sup>2</sup> ) .....	36
Tableau 2 : Statistiques d'occupation des sols dans les deux départements, en proportion de surface du département .....	36
Tableau 3 : Statistiques de la série temporelle de changements annuels du JRC - Madre de Dios .....	37
Tableau 4 : Statistiques de la série temporelle de changements annuels du JRC – Guaviare.....	38
Tableau 5 : Statistiques des processus sur les 2 départements, en proportion de surface du département .	40
Tableau 6 : Statistiques des surfaces dégradées selon le nombre d'événements de dégradation – Madre de Dios .....	42
Tableau 7 : Statistiques des surfaces dégradées selon le nombre d'événements de dégradation – Guaviare .....	43
Tableau 8 : Statistiques des données feux de GLAD – Madre de Dios .....	51
Tableau 9 : Statistiques des données feux de GLAD – Guaviare.....	52
Tableau 10 : Statistiques de la déforestation nette et de la dégradation par causes : causes diverses et présence de feux (après reclassement) – Madre de Dios.....	55
Tableau 11 : Statistiques de la déforestation nette et de la dégradation par causes : causes diverses et présence de feux (après reclassement) – Guaviare.....	56
Tableau 12 : Nombre et surfaces de patches de déforestation et de dégradation pour les deux années cibles (2000 et 2018) – Madre de Dios .....	96
Tableau 13 : Nombre et surfaces de patches de déforestation et de dégradation pour les deux années cibles (2000 et 2018) – Guaviare.....	96

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : États initiaux (1982) - Madre de Dios et Guaviare .....	35
Annexe 2 : Série temporelle de changement annuels du JRC – Madre de Dios et Guaviare .....	37
Annexe 3 : Série temporelle de changement annuels du JRC – Comparaison des processus dans les deux départements.....	40
Annexe 4 : Événements de dégradation – Madre de Dios et Guaviare .....	42
Annexe 5 : Année d'observation des perturbations (déforestation et dégradation) - Madre de Dios et Guaviare .....	45
Annexe 6 : GLAD – Madre de Dios et Guaviare .....	51
Annexe 7 : Reclassement des données de feux – Exemple à Madre de Dios .....	54
Annexe 8 : Part des feux dans les processus – Madre de Dios et Guaviare .....	55
Annexe 9 : Cadastre minier – Madre de Dios .....	58
Annexe 10 : Communautés indigènes – Madre de Dios .....	60
Annexe 11 : Concessions de conservation – Madre de Dios .....	62
Annexe 12 : Concessions d'écotourisme – Madre de Dios .....	63
Annexe 13 : Concessions de reboisement – Madre de Dios.....	64
Annexe 14 : Concessions forestières d'exploitation de bois – Madre de Dios .....	65
Annexe 15 : Concessions d'exploitation de PFNL – Madre de Dios .....	66
Annexe 16 : Permis d'exploitation forestière – Madre de Dios .....	67
Annexe 17 : Zones agricoles – Madre de Dios .....	68
Annexe 18 : Réseau routier principal – Madre de Dios .....	70
Annexe 19 : Réseau routier secondaire – Madre de Dios.....	72
Annexe 20 : Comparaison des zones étudiées pour Madre de Dios .....	74
Annexe 21 : Aires prioritaires de restauration et Aires de restauration DRMI – Guaviare .....	77
Annexe 22 : Aires protégées RUNAP – Guaviare .....	79
Annexe 23 : Zonage agricole – Guaviare.....	80
Annexe 24 : POMCA – Guaviare.....	82
Annexe 25 : Réserves indigènes et réserves paysannes – Guaviare.....	84
Annexe 26 : UAPSS – Guaviare.....	86
Annexe 27 : Comparaison des zones étudiées pour Guaviare.....	88
Annexe 28 : Création de patchs et de zones tampons – Madre de Dios et Guaviare .....	94
Annexe 29 : Analyse spatiale des processus à partir des zones de patchs – Madre de Dios et Guaviare .....	97
Annexe 30 : Analyse temporelle des processus à partir des zones de patchs – Madre de Dios et Guaviare	100
Annexe 31 : Méthodologie.....	108

## 2 INTRODUCTION

### 2.1 Contexte, projet TerrAmaz et définition du sujet de thèse professionnelle

Ce document présente le projet de thèse professionnelle qui s'est déroulé pendant six mois au sein du Cirad à Montpellier, dans l'Unité Propre de Recherche (UPR) « Forêts et Sociétés ».

Le Cirad est l'organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes et comprend vingt-neuf unités de recherche réparties dans trois départements scientifiques : Systèmes biologiques (Bios), Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (Persyst) et Environnements et sociétés (ES). L'UPR « Forêts et Sociétés » fait partie du département ES, et ses objets d'étude ont trois composantes : les espaces à dominante de forêts tropicales et subtropicales, naturelles ou plantées ; les sociétés qui vivent et dépendent directement des forêts, et les transforment ; les politiques publiques et instruments qui s'appliquent aux forêts.

Concernant le contexte scientifique et technique, ce projet de thèse professionnel est un sous-projet au sein d'un projet de plus grand ampleur, nommé TerrAmaz, qui se déroule de septembre 2020 à janvier 2025 et dont la mise en œuvre a été confiée au consortium Cirad, AVSF (Agronomes et Vétérinaires Sans Frontières) et ONFi (ONF International). C'est un projet financé par l'AFD (Agence Française de Développement) à hauteur de 9,5 millions d'euros. Son objectif général est d'accompagner des territoires amazoniens dans la mise en œuvre de leur politique de lutte contre la déforestation et de transition vers un modèle de développement permettant d'allier développement économique bas carbone et conservation des écosystèmes. Parmi ses objectifs spécifiques, nous pouvons citer le développement d'outils et méthodologies d'ingénierie territoriale adaptés aux contextes amazoniens, la promotion d'approches de planification concertée, d'aménagement et de gestion durable du territoire dans cinq sites pilotes du biome amazonien ainsi que la promotion de référentiels technico-économiques de pratiques agricoles durables, ou encore la possibilité de tester des mécanismes de financement innovants pour la transition agricole et le développement de filières durables.

Les cinq sites pilotes qui ont été choisis dans le cadre du projet TerrAmaz sont des territoires ayant subi une forte déforestation par le passé, et qui sont aujourd'hui engagés dans des politiques de lutttes contre la déforestation.

Trois processus sont à l'œuvre dans l'évolution du couvert forestier de ces sites : la déforestation, la dégradation des forêts et la régénération des forêts. Ce sont des territoires en transition : la déforestation y est maîtrisée ou sa maîtrise est affichée comme une volonté forte. Le processus de déforestation a été très étudié et est déjà bien compris. Cependant, la dynamique du couvert forestier est soumise à deux autres processus, la dégradation et la régénération forestière, qui sont beaucoup moins connus et moins étudiés.

Le suivi et la compréhension de ces deux processus devient indispensable pour mieux gérer ce couvert face aux défis de ces territoires, notamment pour trouver des compromis entre production agricole et maintien des ressources naturelles et adaptation aux changements climatiques ; et pour mieux gérer les ressources naturelles (European Commission. Joint Research Centre., 2020).

L'objectif principal de mon projet est de comprendre comment les processus de dégradation et de régénération des forêts structurent le couvert forestier en lien avec la déforestation sur plusieurs décennies à l'échelle de deux territoires amazoniens. Le résultat est de produire des informations pour aider la prise de décision concernant la gestion du couvert forestier.

## 2.2 Gestion du projet

Le Mastère Spécialisé SILAT est une formation professionnelle qui vise à former des chefs de projets et intégrateurs de solutions géomatiques. Chaque mission est donc réalisée dans une posture de chef de projet, en s'appuyant sur un ensemble d'outils. La première étape était de prendre en main et d'appréhender le sujet et la problématique associée, d'identifier les besoins du commanditaire, de connaître les sources d'informations disponibles et de prendre en compte les contraintes. Dans le cadre de mon projet, le besoin du commanditaire est de produire des résultats sur la compréhension des trois processus d'évolution du couvert forestier dans des territoires du projet TerrAmaz. Les sources de données ont été indiquées par le commanditaire.

Le projet s'est déroulé en différentes phases, qui sont : l'initialisation, l'avant-projet, la réalisation, et la capitalisation. Les phases d'initialisation et d'avant-projet ont eu lieu sur la période septembre 2021 – avril 2022, pendant la période d'alternance avec les cours. Durant la phase d'initialisation du projet, nous avons exploré les pistes de travail à envisager comme sujet de thèse professionnelle, ce qui a fait émerger le besoin de s'intéresser aux processus de dégradation et de régénération des forêts. Nous avons ensuite abordé la phase d'avant-projet, qui est une phase de fiabilisation et de sécurisation du projet. Elle nous a permis de définir et d'éclaircir le projet dont j'aurai la responsabilité, d'en préciser le périmètre et d'énoncer les résultats visés, et d'élaborer une formulation précise de la contribution attendue. La phase de réalisation s'est déroulée durant les 5,5 premiers mois de stage et fait l'objet de ce rapport. La phase de capitalisation est prévue durant la dernière partie de ce stage.

Le pilotage du projet a pour objet de gérer les ressources, planifier le travail et rendre des comptes. Pour cela, les concepts, méthodes et outils enseignés pendant le SILAT ont été mobilisés. Le planning a été ajusté au fur et à mesure du projet et des points d'étapes ont été fait avec le commanditaire. Deux présentations de résultats ont été réalisées pour les équipes locales du projet TerrAmaz.

Concernant les livrables et résultats, il est attendu une analyse de l'évolution temporelle et des dynamiques spatiales, et d'en caractériser et comprendre les impacts, les déterminants et les interrelations entre les processus. Le projet a été mené sur deux des cinq sites du projet TerrAmaz, et son échéance a été fixée au 30/09/2022.

Pour chaque territoire étudié, les livrables sont :

- Scripts R pour l'analyse et le traitement de données spatiales du suivi du couvert forestier ;
- Cartes de dégradation / déforestation / régénération des forêts (Projet QGIS et exports de mise en page cartographique) ;
- Caractérisation et quantification des processus (dégradation, déforestation, régénération) et de leurs relations ;
- Identification de causes de déforestation et de dégradation.

Enfin, il est à noter que 20 % du temps de stage a été attribué à des projets de l'Unité de Recherche « Forêts et Sociétés ». Cette répartition respecte le financement du poste, pris en charge à 80 % par le projet TerrAmaz et à 20 % par l'Unité. Les travaux réalisés pour l'Unité ont été :

- La réalisation d'une enquête sur les besoins en produits cartographiques au sein de l'Unité, via des entretiens individuels semi-directifs (environ 25 entretiens réalisés ainsi qu'un rapport d'enquête) ;
- Une cartographie des projets de l'Unité, avec différentes mises en pages et réalisation de posters, en vue de la tenue de la retraite scientifique de l'Unité ;
- Des appuis ponctuels en cartographie pour la production de cartes d'illustration (QGIS), des traitements de données, ou de l'initiation à QGIS.

### 2.3 Processus d'évolution du couvert forestier : quelques éléments d'état de l'art

Les forêts tropicales humides ont une valeur environnementale de grande importance : elles jouent notamment un rôle dans la conservation de la biodiversité, dans le stockage du carbone, ou encore dans la subsistance des populations et dans la santé humaine. Leur surveillance fait partie des stratégies de gestion du changement climatique (Sist, Doumenge, Gond, Tassin, Trébuchon, 2021).

La déforestation et la dégradation sont la deuxième plus grande source d'émissions anthropiques de dioxyde de carbone (après la combustion de combustibles fossiles) et jouent un rôle dans le changement climatique (Kalnay et Cai, 2003). La dégradation représente une menace pour les services éco-systémiques fournis par les forêts tropicales humides (Millennium Ecosystem Assessment (Program), 2005), en causant une perte de productivité, de biodiversité, et une réduction du stockage du carbone (Thompson et al., 2013).

Alors que la déforestation est une conversion des forêts en d'autres occupations du sol, la dégradation est un processus qui affecte la qualité du couvert forestier, mais les surfaces restent classées en forêts (Bourgoin, 2019). La difficulté dans le suivi de la dégradation est ainsi dans la caractérisation de ces changements de qualité du couvert forestier, et donc dans la définition des indicateurs permettant de classer une forêt dégradée par rapport à une forêt non-perturbée (Melito et al., 2018 ; Malhi et al., 2014 ; Mitchell et al., 2017). Il y a peu de consensus sur la définition de la dégradation, alors que des définitions consensuelles sur la déforestation ont permis le développement de méthodes efficaces pour la suivre (Achard et al., 2007).

Il en résulte que le processus de dégradation est moins étudié, et les données de surveillance le concernant sont plus rares (Thompson et al., 2013). De plus, la plupart des analyses de la dégradation se concentrent sur les tailles de patches (Bourgoin, 2019).

Les outils et méthodes de suivi de la dynamique de ces processus en Amazonie sont notamment issus de la télédétection optique, radar, et LIDAR. De nombreuses approches de télédétection ont été développées pour le suivi des dynamiques d'évolution du couvert forestier. En parallèle, des outils de machine learning (comme du Deep Learning) sont développés et permettent le traitement de gros volumes de données (Pal et Mather, 2005).

Les données utilisées sont principalement : des données Landsat, MODIS, Sentinel-1 et Sentinel-2. La série temporelle Landsat est la seule source de données disponibles en open-source et permettant d'analyser des changements annuels d'occupation du sol sur une longue période.

Les approches d'étude de la dégradation peuvent être séparées en deux grands types : les approches indirectes mesurent la dynamique spatiale et l'évolution des infrastructures humaines et l'identification des perturbations, alors que les approches directes mesurent les détériorations du couvert forestier dues aux perturbations d'origine humaine (Bourgoin, 2019).

Des systèmes nationaux de surveillance des forêts existent pour les pays ciblés par le projet TerrAmaz, comme par exemple : INPE au Brésil<sup>1</sup> et SINIA au Pérou<sup>2</sup>.

Des données mondiales sont également produites par la FAO mais les méthodes ne sont pas harmonisées entre les pays (Hansen et al., 2013).

Les données récentes du JRC (Joint Research Center, voir ci-après au paragraphe 3.3) sont les premières descriptions de l'évolution de la déforestation, dégradation et régénération à l'échelle pantropicale sur la

---

<sup>1</sup> <https://www.gov.br/inpe/pt-br>

<sup>2</sup> <https://sinia.minam.gob.pe/>

période de 1982 à 2021. Plus particulièrement, l’analyse des perturbations de courtes durées permet d’identifier l’importance de la dégradation. Elles ont été choisies, dans le cadre de ce projet, car elles fournissent une classification spatiale et temporelle des trois processus rendant la comparaison possible entre territoires de pays différents.

Le devenir du couvert forestier dépend des initiatives et décisions de gestion des ressources naturelles qui sont et seront prises, en réponses aux processus de déforestation et de dégradation. À l’échelle territoriale, le manque d’information dans l’analyse des causes et des dynamiques de dégradation forestière limite ainsi les possibilités de mises en œuvre de politiques de gestion durable des forêts.

### 3 METHODOLOGIE

#### 3.1 Sites d’études

TerrAmaz se déroule sur cinq territoires, qui sont situés dans quatre pays d’Amérique Latine (Figure 1). Deux territoires ont été ciblés pour le projet de thèse professionnelle, qui sont : le département de Madre de Dios (Pérou) et le département de Guaviare (Colombie).



Figure 1 : Localisation des 5 territoires du projet TerrAmaz

Le département de Madre de Dios a une superficie de 87167 km<sup>2</sup> (soit 6,8 % de la superficie du Pérou).

Le département de Guaviare a une superficie de 55906 km<sup>2</sup> (soit 4,9 % de la superficie de la Colombie).

### 3.2 Phasage du projet et outils

Le phasage du projet a été développé sur le site de Madre de Dios, puis appliqué au territoire de Guaviare. Ses étapes sont les suivantes :

- La bibliographie sur les travaux déjà réalisés sur le territoire ;
- La collecte et compréhension des données disponibles sur le territoire (plateformes FORLAND, données JRC et GLAD) ;
- Une analyse exploratoire dont des premiers traitements d'analyse spatiale (à l'aide du logiciel QGIS notamment) ;
- L'élaboration d'une méthode d'exploitation des données pour les productions de cartes (à l'aide du logiciel R) ;
- La caractérisation du couvert forestier et de la compréhension de sa dynamique sur Madre De Dios ;
- La caractérisation et quantification des processus étudiés ;
- Une analyse et une détermination des causes de la déforestation et de la dégradation, et des dynamiques spatio-temporelles.

Après le phasage du projet, le planning suivant a été élaboré (Figure 2) :

Semaine :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
<b>Projet de thèse professionnelle : 80% du temps</b>																											
Bibliographie																											
Collecte de données																											
Analyse exploratoire sur Madre De Dios																											
Elaboration d'une méthode sur Madre De Dios																											
Détermination d'indicateurs sur Madre De Dios																											
Caractérisation et quantification des processus																											
Analyse dynamiques spatio-temporelles sur Madre De Dios																											
Application de la méthode au département de Guaviare																											
Rédaction du mémoire et finalisation																											
1er rendu de la thèse professionnelle																											
Capitalisation du projet																											
<b>Appui en géomatique aux agents de l'unité : 20% du temps</b>																											
Enquête de collecte des besoins en géomatique																											
Cartographie des projets de l'Unité (QGIS) pour réalisation de poster																											
Projets cartographiques (QGIS) d'appui à l'Unité	< ----- Lorsqu'il y a des besoins ----- >																										
Appui sur QGIS (formation d'agents de l'unité)	< ----- Lorsqu'il y a des besoins ----- >																										

Figure 2 : Planning du projet

L'approche méthodologique du projet est développée selon trois grands axes de travail, qui structurent ce mémoire :

**Axe 1** : Analyse de la dynamique spatiale et temporelle des processus de déforestation, de dégradation et de régénération du couvert forestier ;

**Axe 2** : Analyse des causes à l'origine des trois processus ;

**Axe 3** : Analyse des relations entre les trois processus.

Les deux principaux outils utilisés pour réaliser le projet ont été les logiciels QGIS et R. Le choix des outils a été laissé à mon initiative, j'ai donc choisi des logiciels gratuits et libres. La montée en compétence sur R était l'un de mes objectifs pendant ce stage. Ainsi, les traitements de données ont quasiment tous été fait sur R, dans le but de finaliser un script complet pour l'ensemble des traitements de données effectués.

### 3.3 Données et traitements

Concernant l'analyse exploratoire des départements, des données ont été collectées sur les plateformes FORLAND du projet TerrAmaz et de l'ONF Andina, à l'aide des équipes locales du projet TerrAmaz à Madre de Dios et à Guaviare. Il s'agit de couches *shapefiles* concernant l'organisation géographique du territoire (limite des départements, réseaux routiers, centres urbains, villages, ...) ainsi que des découpages du territoire selon différentes organisations de l'espace (concessions forestières ou zonage agricole par exemple).

Les données relatives au couvert forestiers ont été produites par le JRC (Joint Research Centre)<sup>3</sup>, service scientifique interne de la commission européenne. Il s'agit d'un jeu de données récent sur les forêts tropicales humides, réalisé en utilisant des séries temporelles Landsat sur 39 ans. Les produits ont une résolution de 30 m et décrivent l'étendue de la forêt tropicale humide et les perturbations qu'elle subit (déforestation et dégradation), ainsi que la régénération forestière. L'approche utilisée par le JRC est basée sur l'analyse de chaque observation valides (sans nuages) des données Landsat et permet notamment d'identifier les perturbations de courtes durées (pour l'analyse de la dégradation).

Dans le cadre de ce projet, nous utilisons les définitions du JRC ; donc les résultats produits dépendent des règles fixées par le JRC pour la classification des trois processus étudiés. Nous précisons ces définitions ci-après :

---

<sup>3</sup> <https://forobs.jrc.ec.europa.eu/TMF/>

Une perturbation est définie comme l'apparition d'une absence de couvert forestier sur un pixel Landsat d'une zone de couvert forestier. Même si aucun écosystème ne peut être considéré comme n'ayant jamais été impacté, les forêts tropicales humides non-perturbées sont définies ici comme des forêts d'arbres à feuillage persistant ou semi-persistant, n'ayant eu aucune perturbation (dégradation ou déforestation) au cours de la période couverte par les données Landsat. Il ne s'agit pas de forêts n'ayant jamais été impactées, puisque la période d'observation des forêts par Landsat n'est pas assez grande pour discriminer les forêts n'ayant jamais été perturbées des forêts ayant eu des perturbations antérieures à la période d'observation.

La déforestation est une conversion permanente de forêt non-perturbée en une autre utilisation des sols. Une surface est classée en déforestation lorsque des perturbations y sont observées pour une durée au moins 3 années consécutives.

Les forêts dégradées sont des forêts dans lesquelles les perturbations ont été observées pendant une courte durée (3 ans maximum).

La régénération est définie ici comme une absence de perturbation du couvert forestier pendant une durée minimum de 3 ans.

Les produits cartographiques du JRC utilisés comme sources de données dans ce projet sont :

- La série de changements annuels entre 1982 et 2020 : collection de 39 couches de données décrivant, pour chaque année, l'étendue de la forêt non perturbée et des changements (déforestation, dégradation, régénération) ;
- La série annuelle d'événements de dégradation : cette série compte jusqu'à quatre événements de dégradation (au-delà, il est considéré qu'il peut y avoir une confusion avec des cultures itinérantes), et a été créée à l'aide des observations de perturbations. Chaque perturbation ayant une durée d'au moins trois ans, mais suivie par au moins deux années sans observation de perturbation permet d'identifier un événement de dégradation, dont la date de début (la première année des trois années de perturbation) est indiquée dans la série annuelles d'événements de dégradation.
- L'année d'observation des perturbations (pour une année comprise entre 1984 et 2020) : deux couches de données, décrivant pour l'une : l'année d'observation de la déforestation et pour l'autre : l'année d'observation de la première dégradation.

Les classes de déforestation, dégradation et régénération des données du JRC ont donc été utilisées pour faire des statistiques sur ces trois processus, pour chaque année de la période d'observation.

Pour la dégradation, la série de changements annuels du JRC nous renseigne sur la somme annuelle de surfaces dégradées au cours de la période d'observation, c'est-à-dire que lorsqu'une surface est classée en

dégradation, elle le reste jusqu'à une observation de déforestation (le cas échéant), ou reste en classe de dégradation. Nous avons donc également à notre disposition le jeu de données spécifique à la dégradation qui indique la détection d'événements successifs de dégradation pour la période d'observation, également utilisée pour produire des statistiques.

Pour la déforestation, la série de changements annuels du JRC nous renseigne sur la somme annuelle des surfaces ayant été déforestées mais n'ayant pas été régénérées. Pour connaître la déforestation brute, il faut ajouter à la déforestation nette les surfaces ayant été régénérées.

Pour la régénération, la série de changements annuels du JRC nous renseigne sur la somme annuelle des surfaces déforestées ayant été régénérées.

La dégradation est un état non permanent, à la différence de la déforestation et de la régénération.

Les données relatives aux feux ont été produites par le laboratoire GLAD (Global Land Analysis and Discovery)<sup>4</sup> du département des sciences géographiques de l'université du Maryland qui étudie quant à lui les méthodes, les causes et les impacts des changements de la surface terrestre mondiale.

Nous utilisons dans ce projet les données de feux : les données sont disponibles entre 2001 et 2021 et à une résolution de 30 m. Elles correspondent aux estimations de superficie de la perte de forêts due aux feux, avec une mesure d'incertitude allant de 1 à 4 (Tyukavina et al., 2022). Les classes d'incertitude 4 (forte certitude) et 3 (certitude moyenne) ont été conservées dans l'analyse faite dans ce projet.

Pour la collecte des données des processus d'évolution du couvert forestier, la première étape a été le téléchargement des données de JRC et de GLAD sur Google Earth Engine, grâce à des scripts recueillis auprès du JRC. Cette partie m'a permis de me familiariser avec les fonctionnalités de base de Google Earth Engine et d'être capable d'adapter des scripts. Les données ainsi téléchargées sont des tuiles raster, selon l'emprise voulue. Les images ont ensuite été traitées à l'aide du logiciel R.

Prétraitement des images : Le premier traitement effectué est la réalisation de mosaïques avec les tuiles téléchargées, pour ensuite conserver les données uniquement à l'intérieur des limites du département à l'aide d'un masque du département. Toutes les données ont été téléchargées et traitées en degrés. Les données du JRC et les données de GLAD ont été couplées pour étudier l'impact des feux dans les processus de déforestation et de dégradation (voir Figure 115).

Les données de feux de GLAD fournissent une classification des feux selon l'année de survenue du feu sur le pixel. Nous avons considéré que lorsque qu'un pixel classé « feu » pour une année donnée croise un pixel classé « dégradation » ou « déforestation » pour cette même année, les pixels voisins, s'ils sont dégradés

---

<sup>4</sup> <https://glad.umd.edu/>

ou déforestés, sont également impactés par le feu. Nous avons donc d'abord effectué une dilatation des pixels de feu, ou chaque pixel est dilaté en un patch carré de 9 pixels de côté, puis nous avons croisé cette couche de pixels dilatés avec la série de changements annuels du JRC sur la période 2001 – 2020 (la présence de feu entre 1982 et 2000 n'a donc pas été étudiée dans le cadre de ce projet). Enfin, nous avons reclassé en dégradation ou déforestation ayant pour cause la présence de feu, chaque pixel de dégradation ou de déforestation de la série de changements annuels croisant un patch de feu dilaté (voir Figure 118).

Pour tous les résultats présentés ci-après (Chapitre 4), les données sont présentées d'abord en surfaces (km<sup>2</sup>) pour chaque département, puis en proportion de surfaces afin de comparer les processus (% de surface du département).

**Axe 1 : Analyse spatio-temporelle des processus de dégradation, régénération et déforestation** : cette analyse a été faite à l'échelle de chaque département, en extrayant des statistiques de toutes les données sources pour étudier l'évolution dans le temps dans trois processus, et en réalisant des jeux de cartes pour visualiser leur évolution dans l'espace (voir Figure 116 et Figure 117).

Concernant Madre de Dios, une partie des surfaces déforestées ont été converties en eaux (des pixels classés en déforestation peuvent être classés en eaux les années suivantes) : nous faisons apparaître deux courbes pour la déforestation nette, en séparant la déforestation à usage terrestre de la déforestation ayant entraîné une conversion des surfaces en eaux.

La déforestation brute représente le cumul des surfaces ayant été déforestées, et doit donc inclure la régénération (et surfaces converties en eaux dans le cas de Madre de Dios). La dégradation représente, pour chaque année, le cumul des surfaces ayant eu au moins un événement de dégradation par le passé, et n'ayant pas encore été déforestées lors de l'année considérée.

Les changements d'occupation des sols sont déterminés à partir de la série de changements annuels du JRC, en détectant d'une année sur l'autre les nouvelles surfaces déforestées et dégradées.

L'année d'observation des perturbations nous permet d'étudier la progression des surfaces déforestées et dégradées au cours de notre période d'observation.

**Axe 2 : Analyse des causes** : La première cause de dégradation et déforestation étudiée est le feu. Ensuite, des régions d'intérêts ont été choisies dans chacun des deux départements, en fonction d'éléments mentionnés dans la bibliographie ou par les équipes locales du projet TerrAmaz. Les données de *shapefiles* collectées sur les plateformes FORLAND ont été utilisées dans cette partie. Pour les données de type polygone, des masques raster ont été créés, ainsi que des zones tampons avec leurs masques rasters. Pour les données de type lignes, nous utilisons des masques des zones tampons créées. Quatre zones tampons ont été créées, à des distances de : 300 m, 1 km, 2 km et 5 km. Les masques raster ont été croisés avec la série de changements annuels du JRC sur R, pour obtenir les statistiques annuels des trois processus dans la

région étudiée. Les zones tampon ont été créés pour regarder comment les trois processus s'organisent à proximité de ces régions d'intérêts (voir Figure 119). Nous avons choisi pour Madre de Dios : le cadastre minier, les communautés indigènes, différents types de concessions (conservation, écotourisme, reboisement, exploitation de bois, exploitation de produits forestiers non-ligneux), les réseaux routiers et la zone agricole. Pour Guaviare, nous avons choisi des aires de restauration et aires protégées, le zonage agricole, les réserves, les POMCA (Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas) et les UAPSS (Unidades Ambientales para la Paz y los Servicios Sociales).

**Axe 3 : Analyse des relations entre les processus** : nous nous intéressons ici à l'imbrication des processus dans le temps et dans l'espace. Par exemple, nous avons tenté de répondre aux questions suivantes : Quelle est l'influence de l'organisation spatiale des processus les uns par rapport aux autres sur leurs dynamiques temporelles ? La dégradation est-elle en bordure de la déforestation ? Ou encore, dans quel contexte spatial se situe la régénération ?

Pour cela, le logiciel R a été utilisé pour créer des couches de patches de dégradation, déforestation, et régénération, puis des masques des patches. Un patch est un ensemble de pixel adjacents. Les couches de patches ont été réalisées pour la première année de la période d'observation (1982), puis une année sur cinq entre 1990 et 2020. Des résultats détaillés avec l'historique et l'évolution des trois processus ont été réalisés pour deux années en particulier : 2000 et 2018. L'année 2000 a été choisie car elle se situe à la moitié de notre période d'observation et nous permet de connaître l'historique sur 10 ans et l'évolution sur 20 ans, et l'année 2018 a été choisie car c'est la dernière année incluant les classifications définitives des trois processus (il faut connaître les données jusqu'à trois années après l'année cible pour réaliser cette classification). Puis, sur chacune des couches de patches de dégradation et de déforestation, cinq buffers ont été créés, à des distances de : 30 m (le pixel adjacent), 60 m, 90 m, 120 m, 180 m et 240 m. Ces zones tampon ont été créés afin d'étudier les dynamiques spatiales des processus, notamment les processus adjacents.

Enfin, chaque couche de patch et de buffer a servi à faire un masque de la surface afin de le croiser avec la série de changements annuels du JRC pour obtenir les statistiques des trois processus. Ces statistiques ont permis la réalisation de graphiques : en choisissant une zone dégradée ou déforestée pour une année cible, nous pouvons connaître son historique et son évolution les années suivantes pour chacun des trois processus (voir Figure 120). Des moyennes ont également été réalisées sur les résultats obtenus entre 1990 et 2020. Pour la régénération, il n'y a pas eu de zones tampon réalisées, nous nous sommes seulement intéressées à l'historique et l'évolution à partir des zones en régénération pour une année cible. En effet, puisque que la régénération est un processus qui apparait suite à de la déforestation, elle n'est donc présente que dans les zones précédemment déforestées, et par conséquent, ne peut pas être dans les zones adjacentes aux zones déforestées. Comme ce processus n'apparait pas sur des surfaces

précédemment dégradées, nous n'avons donc pas non plus étudié sa dynamique dans des zones tampon des surfaces dégradées.

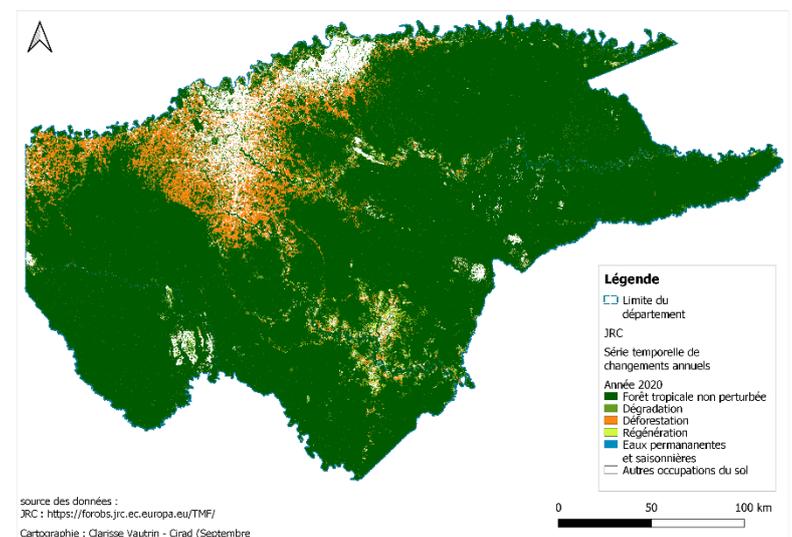
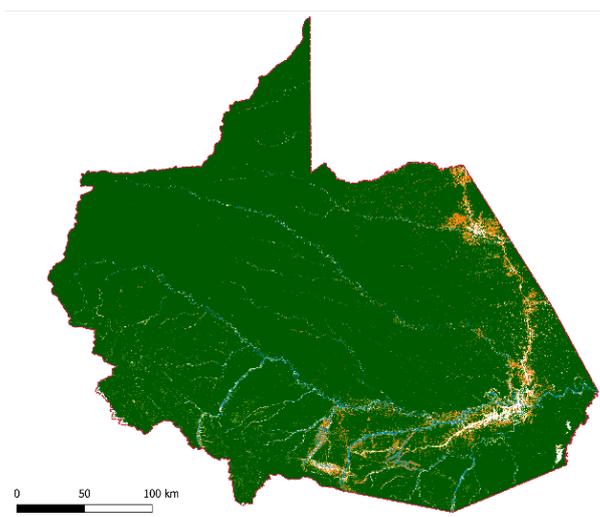
Pour chaque département, un projet QGIS accompagné d'une série de mises en page a été réalisé afin de présenter l'ensemble des données collectées, traitées et produites. Les traitements présentés ont été fait avec le logiciel R.

## 4 RESULTATS

### 4.1 Axe 1 : Analyse de la dynamique spatio-temporelle des processus

Le couvert forestier de Madre de Dios a été déforesté sur une surface de 1970 km<sup>2</sup> (2,3% de la surface totale du département) et dégradé sur une surface de 2574 km<sup>2</sup> (3%) au cours de notre période d'observation (1982 à 2020). La déforestation et la dégradation a lieu au sud et à l'est du département, en particulier le long d'un axe routier (Figure 3A). À Guaviare, sur la même période, les surfaces dégradées et déforestées sont plus élevées avec une importante région de déforestation au Nord-Ouest du département et diverses plus petites autres surfaces dans le sud : 3494 km<sup>2</sup> ont été déforestées (6,2% de la surface du département) et 2426 km<sup>2</sup> (4,3%) ont été dégradées (Figure 3B). Notons qu'à Guaviare, le couvert forestier en 1982 était déjà déforesté sur une surface de 3011 km<sup>2</sup> (5,4% du département) et de 1349 km<sup>2</sup> à Madre de Dios (1,5% du département) (voir Annexe 1).

À Madre de Dios, la dégradation est supérieure à la déforestation tout au long de la période d'observation (Figure 4A), alors qu'à Guaviare, la dégradation ralentit entre 2010 et 2016 pendant que la déforestation connaît une augmentation à partir de 2011, puis plus marquée à partir de 2016. La déforestation est ainsi supérieure à la dégradation à Guaviare depuis 2012 et jusqu'à la fin de la période d'observation (Figure 4B). Ces tendances seront validées dans la suite de l'analyse.



3A

3B

Figure 3 : Carte de l'état du couvert forestier en 2020 à Madre de Dios (3A) et à Guaviare (3B)

À Madre de Dios, les surfaces déforestées chaque année sont faibles jusqu'en 1992, la première décennie de notre période d'observation est surtout dominée par de la dégradation. De 1995 à 2013, les surfaces nouvelles dégradées et déforestées chaque année sont dans des mêmes ordres de grandeurs et suivent les mêmes fluctuations. Depuis 2013, la déforestation connaît une forte hausse (Figure 5A). À Guaviare, la première décennie de notre période d'observation est marquée par des pics de dégradation réguliers, puis une déforestation en hausse entre 1995 et 2000, et à nouveau en hausse à partir de 2013 (Figure 5B).

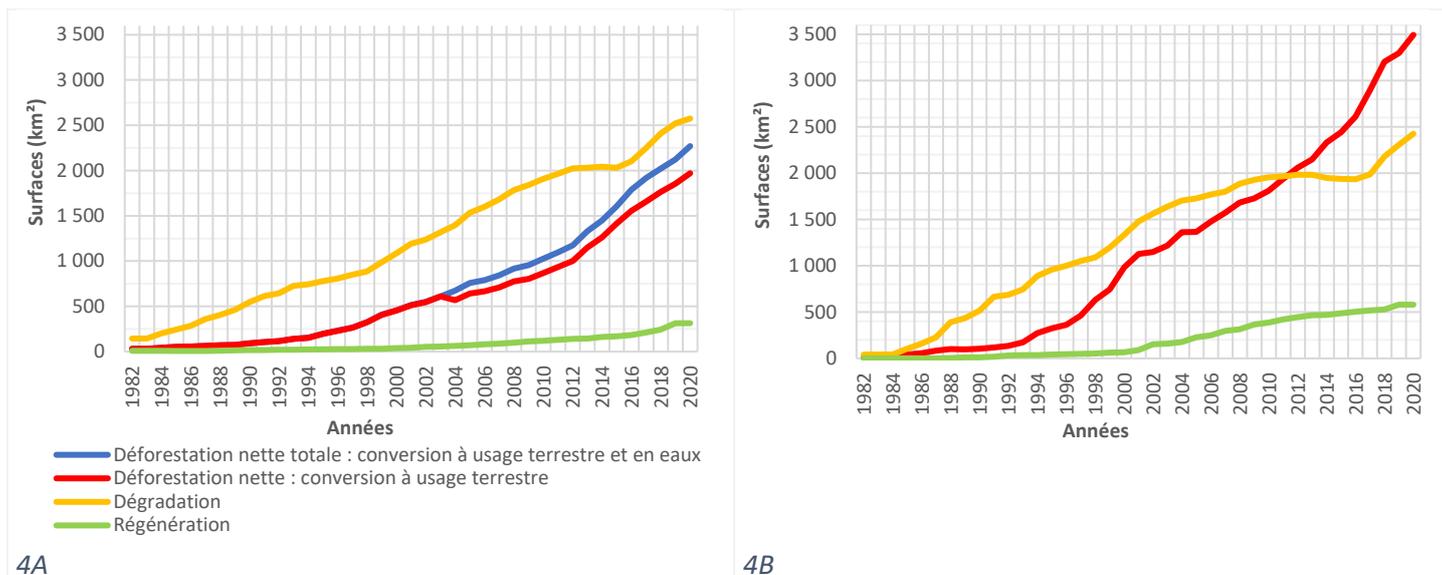


Figure 4 : Évolution des processus de déforestation nette, de dégradation et de régénération, sur la période 1982 – 2020 à Madre de Dios (4A) et à Guaviare (4B)

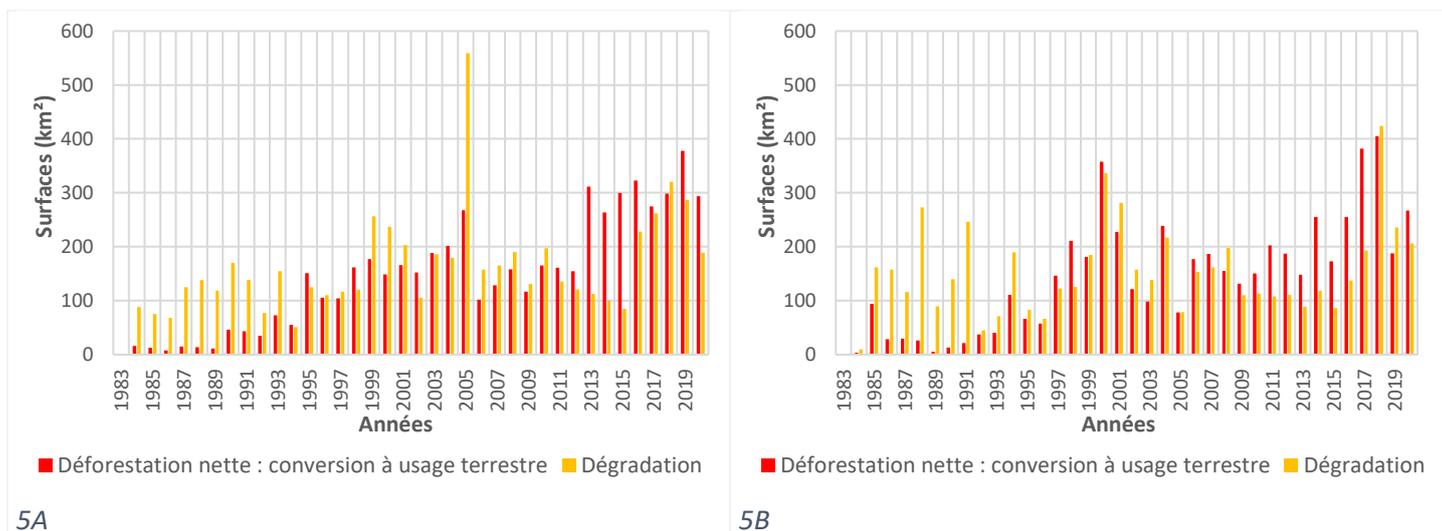


Figure 5 : Détection des changements des processus de déforestation nette et de dégradation, sur la période 1983 – 2020 à Madre de Dios (5A) et à Guaviare (5B)

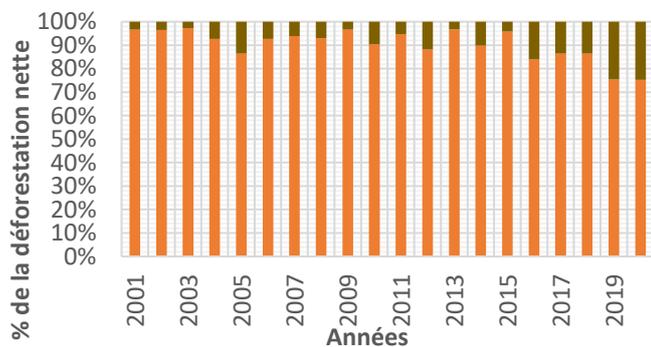
La surface totale ayant eu au moins un événement de dégradation représente 3,8% du territoire à Madre de Dios et 6,6% à Guaviare. Près des trois quarts des surfaces dégradées ne l'ont été qu'une seule fois (71% pour Madre de Dios et 73% pour Guaviare, Annexe 4). Les données du JRC fournissent les dates de début

de quatre événements successifs de dégradation, et les proportions de surfaces en fonction du nombre de dégradation sont quasiment identiques dans les deux départements (Tableau 6 pour Madre de Dios et Tableau 7 pour Guaviare) : entre 71% et 72% des surfaces dégradées ne l'ont été qu'une seule fois, entre 20% et 22% l'ont été deux fois, entre 5% et 6% l'ont été trois fois, et 1% ne l'a été qu'une seule fois.

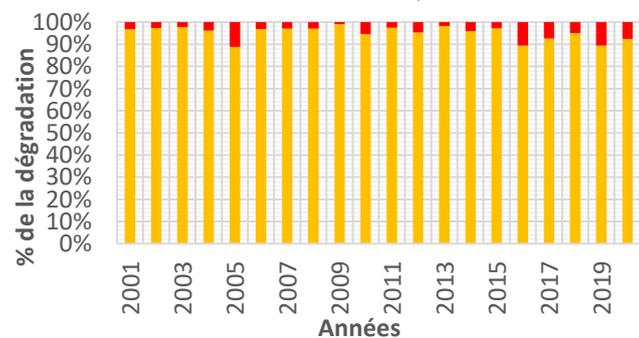
Les cartes d'observation des premières perturbations (observation de la déforestation et observation de la première dégradation) ainsi que des graphiques sont présentés en Annexe 5 : pour la déforestation, il s'agit de l'année d'observation de la déforestation, les surfaces pouvant ensuite être régénérées ; et pour la dégradation, il s'agit de l'année de l'observation du premier événement de dégradation, les surfaces pouvant connaître ensuite d'autres dégradations successives, ou être déforestées.

## 4.2 Axe 2 : Analyse des causes des processus

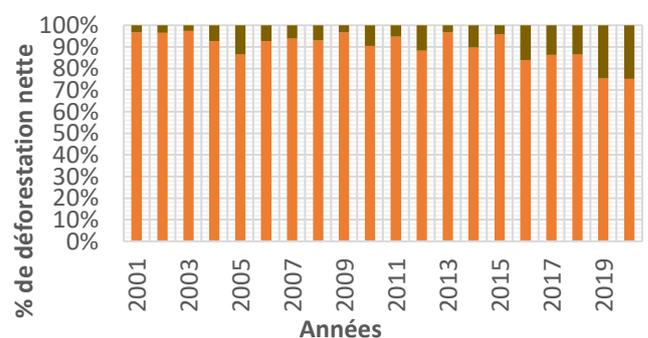
Les surfaces impactées par le feu sont faibles : 0,6 % du territoire pour la déforestation à Madre de Dios et 1,5% du territoire à Guaviare, et 0,2 % du territoire pour la dégradation à Madre de Dios et 0,3 % à Guaviare (Annexe 8 : Tableau 10 et Tableau 11). Concernant l'impact du feu sur les surfaces dégradées et déforestées, il occupe une faible proportion des processus totaux, à Madre de Dios (Figure 6A) comme à Guaviare (Figure 6B).



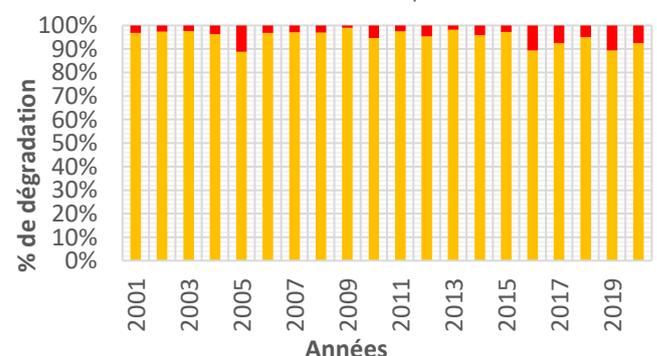
■ Déforestation nette sur des surfaces ayant eu des incendies  
 ■ Déforestation nette : causes autres que les incendies



■ Dégradation sur des surfaces ayant eu des incendies  
 ■ Dégradation : causes autres que les incendies



■ Déforestation nette sur des surfaces ayant eu des incendies  
 ■ Déforestation nette : causes autres que les incendies



■ Dégradation sur des surfaces ayant eu des incendies  
 ■ Dégradation : causes autres que les incendies

6A

6B

Figure 6 : Déforestation et dégradation : part des processus sur des surfaces sur lesquelles le feu a été enregistré par rapport aux processus totaux, à Madre de Dios (6A) et à Guaviare (6B)

Les pratiques de gestion des territoires et décisions d'aménagement ayant des répercussions sur l'évolution du couvert forestier, nous avons ensuite étudié l'évolution des processus selon différents découpages du territoire. Pour Madre de Dios, nous avons retenus l'implantation de l'activité minière (Annexe 9) et les surfaces agricoles (Annexe 17). Pour Guaviare, nous avons retenu le zonage agricole (Annexe 23) et les UAPSS (Annexe 26). Les autres régions analysées sont seulement présentées dans les annexes.

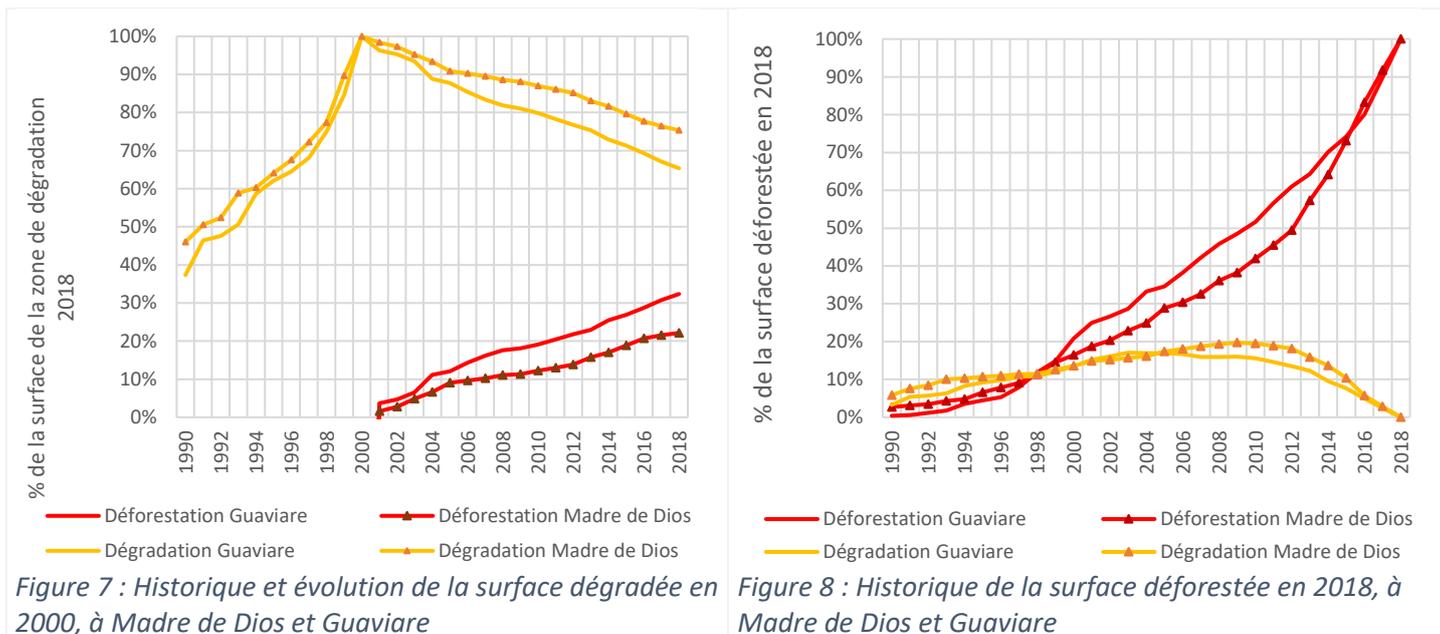
Le contexte d'activité minière, particulier à Madre de Dios, entraîne une augmentation de la dégradation et de la déforestation dans ses parcelles, dans lesquelles nous observons les plus fortes valeurs de déforestation, derrière les parcelles de culture et autour du réseau routier. À l'intérieur du cadastre minier, la dégradation est supérieure à la déforestation tout au long de la période d'observation. La déforestation passe de 1,6 % des surfaces en 1998 à 10,4 % en 2020, et la dégradation, de 2,7 % en 1998 à 11 % en 2020. Les surfaces régénérées sont faibles, et de 1,4 % en 2020 (Annexe 9). À Guaviare, nous observons des valeurs de déforestation à la fois très élevées et très supérieures à la dégradation dans les UAPSS (Annexe 26).

### 4.3 Axe 3 : Analyse des relations entre les processus

Les surfaces déforestées sont majoritairement à l'intérieur de la zone tampon de 180 m autour de surface dégradée de la même année (Figure 93 pour Madre de Dios et Figure 96 pour Guaviare), et la dégradation est principalement observée en bordure de la zone tampon de 30 m autour de la déforestation de la même année (Figure 94 pour Madre de Dios et Figure 97 pour Guaviare).

Comme les deux processus de déforestation et de dégradation sont liés dans l'espace, nous avons également étudié leurs relations temporelles. Pour cela, nous avons considéré toute la surface dégradée en 2000 et nous avons étudié l'historique de cette surface avant et après. Pour la déforestation, nous avons considéré toute la surface déforestée en 2018 et nous avons étudié son histoire passée. Nous observons que les tendances de la dégradation et déforestation sont similaires dans les deux départements :

- Pour 100% des surfaces dégradées en 2000, la déforestation de ces surfaces commence dans les années 2001 pour atteindre 18 ans plus tard, 22% de la surface (Madre de Dios) et 32% de la surface (Guaviare) ;
- 20% des surfaces déforestées en 2018 à Madre de Dios, et 17% à Guaviare étaient dégradées dans les années 2005 à 2009.



## 5 INTERPRETATIONS DES RESULTATS

### 5.1 Axe 1 : Analyse de la dynamique spatiale et temporelle des processus

À partir des cartes (Figure 9) et des données des états initiaux des deux départements, nous pouvons noter une dissymétrie : Madre de Dios est couvert à 97,4 % par la forêt en 1982, alors que Guaviare est couvert à 94 % (Tableau 2). Les surfaces déforestées et dégradées étudiées dans ce projet sont définies par rapport aux surfaces de forêts non perturbées en 1982, et ne tiennent pas compte de la déforestation antérieure à 1982. Pour Guaviare, nous avons à l'état initial 5,4 % de surfaces déforestées et 1,5 % pour Madre de Dios. Il y a donc eu une pré-déforestation plus importante à Guaviare, qui n'est pas analysée dans le cadre de ce projet. Pour l'état initial de nos données la situation des deux départements est donc différente.

La déforestation brute calculée pour les deux départements intègre les données de régénération, et pour Madre de Dios, elle intègre également les surfaces déforestées ayant ensuite été converties en eaux. Les évolutions de la déforestation brute et nette pour les deux départements (Figure 11B) sont quasiment confondues jusqu'à la fin des années 1990. Pour Madre de Dios, l'augmentation de la déforestation semble assez constante sur la période 1990 à 2020, alors que pour Guaviare, nous pouvons noter des périodes de plus forte déforestation entre 1997 et 2000, puis une augmentation constante entre 2000 et 2016, et enfin une accélération de l'augmentation des surfaces déforestées depuis 2016.

Les courbes de déforestation brute et nette, pour les deux départements, sont proches (313 km<sup>2</sup> de différence à l'état final pour Madre de Dios et 581 km<sup>2</sup> pour Guaviare), donc la part des surfaces déforestées ayant été régénérées est assez faible au cours de la période d'observation, atteignant 0,4 % à Madre de Dios et 1 % à Guaviare en 2020.

En comparant les deux départements en termes de proportion de surfaces (Annexe 3), les processus de dégradation et de déforestation sont systématiquement supérieurs à Guaviare depuis 1988 (Tableau 5). Entre 1982 et 1988, les processus sont de faible ampleur et en partie légèrement supérieurs à Madre de Dios. À Madre de Dios, les surfaces dégradées sont plus importantes que les surfaces déforestées tout au long de la période d'observation, alors que pour Guaviare, les surfaces déforestées dépassent les surfaces dégradées depuis 2012, avec une déforestation en forte hausse sur la période 2012 à 2020.

Les données concernant les événements successifs de dégradation (nous avons utilisé ici les données du JRC indiquant les dates de début des événements successifs de dégradation) sont présentées en Annexe 4 : les disparités de surfaces dégradées d'une année sur l'autre sont importantes au cours de la période d'observation, et d'avantage marquées à Guaviare avec des pics de dégradation : nous observons une dynamique particulière à Guaviare, avec des alternances entre des fortes et des plus faibles valeurs de surfaces dégradées, selon un phénomène qui semble cyclique (Figure 14). À Madre de Dios, notons un pic de dégradation en 2005. Nous pouvons également noter qu'après les deux décennies marquées par ces pics à Guaviare, la dégradation sembler freiner avec des valeurs plus basses entre 2008 et 2017, avant d'observer de nouveau des pics de dégradation à partir de 2018. À Madre de Dios (Figure 12), il y a des pics de dégradation pour certaines années (1993, 1999, 2005), et nous pouvons découper la période avec une période de plus faible dégradation, entre 1984 et 1999, puis une période de plus forte dégradation, marquée par des pics de dégradation entre 1999 et 2015, et enfin une période de 2016 à 2019 avec des pics de dégradation tous les ans. En termes de proportion de surfaces (Figure 16), on observe des valeurs quasiment systématiquement plus importantes à Guaviare.

Concernant l'année d'observation de la déforestation pour Madre de Dios et Guaviare, elle s'est majoritairement déroulée après les années 2000, avec une répartition spatiale le long d'un axe routier au sud-est pour Madre de Dios (Figure 19), et avec un phénomène de propagation pour Guaviare à partir d'une région centrale au nord-ouest du département (Figure 21). Les graphiques nous permettent d'observer les disparités entre les années, avec une période de hausse de la déforestation entre 2013 et 2020 pour Madre de Dios (Figure 20), et des années très inégales avec des pics de déforestation pour certaines années isolées à Guaviare (1998, 2000-2001, 2004) et une très forte augmentation en 2017 et 2018 (Figure 22). En comparant les départements en proportion de surfaces (Figure 23), la déforestation est nettement supérieure à Guaviare pour la plupart des années observées, avec des pics de déforestation annuelle de 0,25 % à 0,5 % du département, alors que le plus fort pic de déforestation à Madre de Dios est en-dessous de 0,25 % du département. Pour la déforestation comme pour la dégradation, les surfaces définitives pour 2019 et 2020 ne sont pas encore connues, ce qui explique, pour les deux départements, des valeurs beaucoup plus faibles pour ces deux dernières années.

Sur les cartes d'observation du premier événement de dégradation, nous pouvons noter que ce processus est plus ancien que la déforestation dans les deux départements. La région au sud-est de Madre de Dios est la zone où la dégradation est la plus ancienne (Figure 24), et pour Guaviare, nous observons, comme pour la déforestation, un phénomène de propagation au nord-ouest du département, mais plus ancien que la déforestation (Figure 26). Une région de sud du département a également connu une dégradation ancienne.

## 5.2 Axe 2 : Analyse des causes à l'origine des processus

Nous observons que l'impact de la présence de feu dans les processus de dégradation et de déforestation sont dans des proportions de surfaces comparables pour Madre de Dios et Guaviare (Annexe 8). Nous observons cependant que les proportions de surfaces de feux par rapport au processus concerné sont moins importantes dans les surfaces dégradées (Figure 35 pour Madre de Dios et Figure 37 pour Guaviare) que dans les surfaces déforestées (Figure 34 pour Madre de Dios et Figure 36 pour Guaviare).

Pour s'intéresser aux causes des processus, nous avons également regardé l'évolution spatiale et temporelle des trois processus selon l'organisation spatiale du territoire. Pour chaque région analysée, les résultats sont présentés en annexes de la manière suivante : une carte de situation de la région étudiée puis un graphique d'évolution des trois processus sur la période de 1990 à 2000 (nous avons précédemment vu que les processus sont assez faibles jusqu'en 1990, nous ignorons donc la période de 1982 à 1989 pour cette partie du projet). Pour chaque département, nous avons retenu les analyses de régions dans lesquelles nous observons les plus fortes valeurs de déforestation et de dégradation.

Madre de Dios, cadastre minier : l'activité minière à Madre de Dios s'est surtout développée à partir de la fin des années 1990. Elle représente la première activité économique du pays et est une cause principale de dégradation forestière, dont une part importante due à de l'activité informelle et illégale. Des initiatives de restaurations des forêts sont en cours dans les surfaces dégradées par l'activité minière, mais concerne encore très peu de surface (Tarazona et Miyasiro-López, 2020). Le cadastre minier représente 6,3 % du territoire de Madre de Dios.

D'autres surfaces et découpages du territoire ont été étudiées et comparées entre elles (Annexe 10 à Annexe 20). Les surfaces du cadastre minier sont les troisièmes surfaces dans lesquelles nous observons les plus fortes valeurs de dégradation et de déforestation, derrière les zones agricoles et le réseau routier.

Guaviare, UAPSS : (Unidades Ambientales para la Paz y los Servicios Sociales) (Annexe 26) : il s'agit d'un instrument créé spécifiquement par le département de Guaviare, pour mettre en œuvre une stabilisation de la frontière agricole à des échelles plus locales que les communes, facilitant ainsi les concertations avec les populations locales. Nous y observons des fortes valeurs de déforestation, avec en 2020 : 41,3 % de la

région pour l'UAPSS El Capricho, 54,8 % pour l'UAPSS Nucleo La Cristalina et 36,8 % pour l'UAPSS El Trinfo. La dégradation y est importante, mais néanmoins plus faible la déforestation, avec des valeurs en 2020, respectivement de : 14,7 %, 11,9 % et 14 %. La régénération est assez faible dans les trois régions.

D'autres surfaces et découpages du territoire ont été étudiées et comparées entre elles (Annexe 21 à Annexe 27). Parmi toutes les régions étudiées, les UAPSS sont celles pour lesquelles nous observons les plus fortes de déforestation et de dégradation, devant les surfaces agricoles.

### 5.3 Axe 3 : Analyse des relations entre les processus

Des cartes illustrant la création de patchs de déforestation et de dégradation ainsi que leurs zones tampon sont en Annexe 28. Les patchs sont de petites tailles mais rapprochés les uns des autres : un zoom des patchs de dégradation et de leurs zones tampon est présenté à la Figure 92.

Sur les cartes de localisation des processus les uns par rapport aux autres, nous observons que la dégradation à Madre de Dios (Figure 93) et à Guaviare (Figure 97) est souvent en bordure de la déforestation de la même année (zone tampon de 30 m). Cette zone tampon incluant seulement le pixel voisin à la déforestation, les patchs de dégradation et de déforestation sont donc en contact.

Pour les deux années cibles présentées dans les résultats, les deux départements partagent bons nombres de similitudes dans les dynamiques d'évolution des trois et tous les résultats obtenus pour Madre de Dios sont comparables à ceux de Guaviare en termes de tendances d'évolution, mais avec des différences de proportion de surfaces. Les différences sont de 1 % à 15 %. Les commentaires ci-après sont donc communs aux deux départements.

#### Concernant l'historique et l'évolution des processus à partir d'une surface déforestée :

- Concernant les surfaces déforestées en 2018 : la dégradation est d'abord supérieure à la déforestation durant les 8 premières années (1990 à 1998) ;
- Concernant les surfaces déforestées en 2000 et en 2018 : la dégradation continue et culmine à 17 % à 20 % des surfaces, 7 années avant l'année cible, pour ensuite décroître. La déforestation diminue dès l'année suivant l'année cible (début du processus de régénération) (Figure 99 et Figure 100 pour Madre de Dios et Figure 107 et Figure 108 pour Guaviare) ;
- Concernant les surfaces déforestées en 2000 : la régénération atteint 17 % pour Madre de Dios, et 32 % pour Guaviare huit années après l'année cible ;
- La déforestation dans les zones tampons autour des surfaces déforestées pour l'année cible est assez faible avant (moins de 5 % des zones tampons sont déforestées), mais atteignent jusqu'à 20 % pour Madre de Dios et 25 % pour Guaviare 8 années après l'année cible, indiquant que le processus de déforestation

s'étend par propagation à partir des surfaces déforestées (Figure 101A et Figure 102A pour Madre de Dios, et Figure 109A et Figure 110A pour Guaviare) ;

- La dégradation dans la zone tampon de 30 m (les pixels adjacents à la déforestation) atteint 35 % avant l'année cible. Après l'année cible, la dégradation décroît faiblement. La dégradation est donc spatialement proche de la déforestation : en moyenne 1/3 des surfaces en contact avec la déforestation sont dégradées (Figure 101B et Figure 102B pour Madre de Dios, et Figure 109B et Figure 110B pour Guaviare) ;
- La régénération atteint 4 % de la surface dès l'année suivant l'année cible à Madre de Dios, et 2,5 % à Guaviare. Nous observons également, pour l'année cible 2018, que 1 % de la surface déforestée à Madre de Dios comme à Guaviare a connu une première régénération par le passé (suivi donc par une seconde déforestation) (Figure 101C et Figure 102C pour Madre de Dios, et Figure 109C et Figure 110C pour Guaviare).

Concernant l'historique et l'évolution des processus à partir d'une surface dégradée :

- La déforestation débute dès l'année suivant l'année cible, pour atteindre, 8 années plus tard : 23 % de la surface à Madre de Dios et 33 % à Guaviare. Le quart des surfaces dégradées va donc être déforesté plus tard (Figure 103 et Figure 104 pour Madre de Dios, et Figure 111 et Figure 112 pour Guaviare) ;
- La régénération est faible : elle atteint, 8 années plus tard, 4 % de la surface à Madre de Dios et 2 % à Guaviare. Comme vu ci-avant, nous retrouvons une forte déforestation dans la zone tampon de 30 m autour de la dégradation : jusqu'à 15 % avant l'année cible, et jusqu'à 22 % 18 ans après l'année cible (à Madre de Dios comme à Guaviare) (Figure 105 et Figure 106 pour Madre de Dios, et Figure 113 et Figure 114 pour Guaviare).

## 6 DISCUSSION

Les processus ont été étudiés dans ce projet à partir de produits cartographiques élaborés à partir de données Landsat, et qui utilisent des règles de classification pour la dégradation, la déforestation, et la régénération. L'analyse faite dans le cadre de ce projet est donc dépendante des règles utilisées par le JRC pour la production des données sources, et n'est donc interprétable qu'avec ces mêmes règles.

Les tendances des trois processus sont majoritairement comparables sur les deux départements, mais les ordres de grandeurs connaissent des différences, avec des processus de plus grande ampleur à Guaviare.

La régénération est un processus de faible ampleur par rapport aux deux autres processus, augmentant à partir des années 2000 et concernant à l'état final 12 % de la déforestation brute à Madre de Dios, et 14 % à Guaviare. La dégradation est le processus le plus ancien, avec des surfaces supérieures à la déforestation jusqu'à 2012 pour Guaviare et jusqu'à la fin de la période d'observation pour Madre de Dios.

Spatialement, la dégradation et la déforestation sont proches, avec des surfaces fortement impactées dans les zones tampon de 30 m. Dans des régions spécifiques des territoires, les processus de déforestation et de dégradation suivent les mêmes tendances, c'est-à-dire que si une zone présente une déforestation de valeurs moyennes à élevées, la dégradation y est aussi présente. Inversement, les régions n'étant pas ou peu déforestées ne sont quasiment pas dégradées. Il n'y a donc jamais de processus de déforestation indépendant de la dégradation.

Pour Madre de Dios, le cadastre minier représente 6,3 % du territoire mais concentre 31,6 % de la déforestation nette totale et 25,5 % de la dégradation totale en 2020. Pour Guaviare, les trois UAPSS étudiées représentent 2,1 % du territoire mais concentrent 15,4 % de la déforestation nette totale et 6,5 % de la dégradation totale en 2020.

Temporellement, la dégradation est un processus étroitement lié à la déforestation, et est en partie un précurseur de la déforestation (jusqu'à la moitié des surfaces déforestées ont d'abord été dégradées). Le temps moyen entre une première dégradation et l'observation de la déforestation varie de 6 à 10 ans, selon les différentes dynamiques des régions étudiées. La surveillance de la dégradation peut donc aider à anticiper la déforestation des territoires, et donc à adapter les mesures de conservations des ressources naturelles.

Concernant les causes de dégradation et déforestation, les surfaces de feux semblent faibles, ce qui nous interroge sur les données sources utilisées (GLAD). Il conviendrait pour la suite du travail, d'étudier plus finement les données de feux disponibles.

À Guaviare, un accord de paix a été signé en 2016 entre le gouvernement colombien et les Forces armées révolutionnaires de Colombie (FARC) afin de mettre fin à un conflit interne en Colombie datant des années 1960. La présence des FARC, a eu une importance historique dans les dynamiques d'évolution du couvert forestier, par exemple, l'abandon des terres agricoles dans les zones de conflit entraînant une régénération ou cultures illicites et l'accaparement des terres par la guérilla favorisant la déforestation (González-González et al., 2021). Le pic de déforestation entre 1997 et 2001 s'explique par la culture de la coca correspondant à de petites surfaces ouvertes dans le sud du département (Miraflores), une zone éloignée et hors de contrôle du pouvoir public. A partir de 2001, l'état mène un programme de lutte (intervention de l'armée et pulvérisation d'insecticides par avion) entraînant l'abandon massif de ces champs de coca. Cette région est maintenant dominée par de la régénération. Le pic de déforestation actuel est principalement dans la partie ouest du département avec de nouveau de la culture de coca.

Ces résultats permettent de comparer les processus de déforestation, dégradation et régénération sur des territoires différents. Ils permettent de faire ressortir des spécificités d'un territoire ou d'une région d'un territoire et de dégager les tendances générales des processus. Nous avons ainsi vu, dans l'axe 3, que les

historiques et évolutions des trois processus partagent systématiquement des tendances similaires dans les deux départements.

Ils permettent également de quantifier et étudier conjointement les trois processus d'évolution du couvert forestier, ce qui est moins souvent disponible dans la bibliographie par rapport à l'analyse de la déforestation seule.

## 7 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce travail visait à comprendre le rôle des processus de dégradation et de régénération des forêts dans la structuration du couvert forestier en lien avec la déforestation à l'échelle de deux territoires amazoniens (Madre de Dios et Guaviare). Afin de répondre à ces objectifs, une méthodologie basée sur l'exploitation de données cartographiques a été développée. Les processus de dégradation, déforestation et régénération ont été analysés de 1982 à 2021 en exploitant des séries temporelles de classifications du couvert forestier fournies par le JRC. Ce projet a démontré le fort intérêt des données du JRC pour la compréhension des dynamiques spatio-temporelles des processus de dégradation, déforestation et régénération et leurs interliens.

Ces résultats peuvent être utilisés comme outils d'aide à la décision pour la gestion du couvert forestier. Les cartes et analyses réalisées dans le cadre de ce projet peuvent permettre de cibler des régions prioritaires d'actions sur les territoires de Madre de Dios et Guaviare et de proposer des mesures qui viseront à restaurer le couvert forestier et limiter la dégradation forestière (e.g. reboisement, création de corridor écologique, réduction des interfaces forêts / surfaces agricoles). La méthodologie développée est également applicable à l'ensemble des territoires couverts par les cartes du JRC, soit sur les forêts tropicales humides du monde entier.

De plus amples recherches sont nécessaires afin de comprendre la faible proportion de feux dans les surfaces dégradées et déforestées. Les données GLAD étant à la base de ces résultats, il convient d'investiguer plus en détails la méthodologie de production de ces données. Aussi, des méthodes pour cartographier les feux de forêts historiques à partir de données de télédétection pourrait être expérimentées et comparées aux données GLAD (San-Miguel-Ayanz et Ravail, 2005). Il serait intéressant d'analyser l'influence de la structure du paysage (hétérogénéité du paysage, fragmentation, interfaces entre types d'occupation du sol, taille des patches de forêts) sur les dynamiques spatio-temporelles des trois processus étudiés. Pour ce faire, des métriques paysagères pourraient être dérivées des données du JRC à différentes échelles spatiales et mises en relation avec les cartes précédemment produites (e.g. première année d'observation de la déforestation et de la dégradation, localisation de la régénération).

## 8 REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord Lilian Blanc, Valéry Gond et Plinio Sist pour m'avoir fait confiance, pour avoir défendu mon dossier d'alternance et monté les dossiers de financements, rendant ainsi ce projet possible.

Je remercie tout particulièrement mon directeur de projet Lilian Blanc qui m'a soutenue et encouragée tout au long de l'année, faisant preuve d'une bienveillance, d'une patience et d'une disponibilité à toutes épreuves.

Je remercie Julie Betbeder pour son appui indispensable dans la finalisation de mes résultats et la rédaction.

Je remercie Audrey Mercier qui m'a épaulée tout en long de l'année sur les aspects techniques (mais pas que !) et m'a apportée son aide jusqu'au bout pour la préparation de cette thèse professionnelle.

Je remercie Guillaume Cornu pour son appui technique précieux, notamment dans la résolution en moins de 3 secondes de divers bugs qui auraient pu m'occuper des journées entières, ainsi que son aide avec le matériel et tout un tas d'autres choses qui m'ont facilité la vie.

Je remercie Marie-Jo Darcq pour avoir géré avec une efficacité incroyable tous les aspects administratifs, pour m'avoir aidé dans diverses démarches et avoir fait en sorte que tout était toujours prêt et opérationnel pour moi dès mon arrivée.

Je remercie Clément Bourgoïn pour l'aide qu'il m'a apportée dans la collecte, compréhension, et traitements de données du JRC.

Je remercie toutes les personnes avec qui j'ai travaillé ou échangé sur divers sujets, pour leur aide, pour leur disponibilité ou simplement pour les discussions et moments que nous avons partagés. Je pense notamment, sans hiérarchie autre qu'alphabétique, à : Andrés , Anton, Bruno, David, Davy, Fabrice, Guido, Guillaume, Hélène, Jacques, Jean-François, Marie-Gabrielle, Marilou, Marion, Maxence , Noémie, Salman, Sylvie, Théau , Vincent, Zoé.

Enfin, merci à toute l'UR « Forêts et Sociétés » avec laquelle je souhaitais travailler depuis de nombreuses années, pour m'avoir fourni un cadre de travail épanouissant et enrichissant à travers toutes les rencontres et discussions que nous avons pu avoir. Ce fut un plaisir de vous rejoindre pour cette année d'alternance, merci à toutes et à tous !

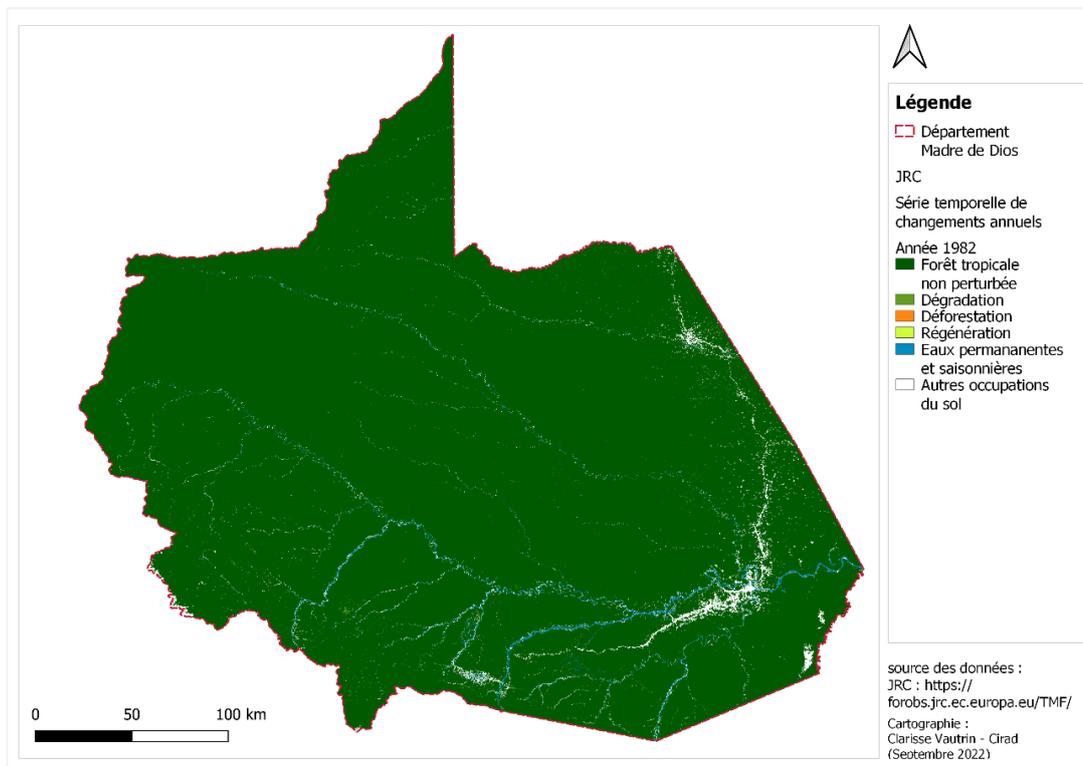
## 9 BIBLIOGRAPHIE

- Achard F., DeFries R., Eva H., Hansen M., Mayaux P., et Stibig H.-J. 2007. Pan-tropical monitoring of deforestation. *Environmental Research Letters*, 2(4), p. 045022. DOI : 10.1088/1748-9326/2/4/045022 (Consulté le 11 septembre 2022).
- Bourgoin C. 2019. *A framework for evaluating forest ecological vulnerability in tropical deforestation fronts from the assessment of forest degradation in a landscape approach: Case studies from Brazil and Vietnam*. (thesis). Montpellier : AgroParisTech, 233 p. Disponible sur : <https://agritrop.cirad.fr/596596/> (Consulté le 11 septembre 2022).
- European Commission. Joint Research Centre. 2020. *Long-term monitoring of tropical moist forest extent (from 1990 to 2019): description of the dataset*. LU : Publications Office Disponible sur : <https://data.europa.eu/doi/10.2760/70243> (Consulté le 11 septembre 2022).
- González-González A., Villegas J.C., Clerici N., et Salazar J.F. 2021. Spatial-temporal dynamics of deforestation and its drivers indicate need for locally-adapted environmental governance in Colombia. *Ecological Indicators*, 126, p. 107695. DOI : 10.1016/j.ecolind.2021.107695 (Consulté le 11 septembre 2022).
- Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., et Townshend J.R.G. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342(6160), p. 850-853. DOI : 10.1126/science.1244693 (Consulté le 11 septembre 2022).
- Kalnay E. et Cai M. 2003. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423(6939), p. 528-531. DOI : 10.1038/nature01675 (Consulté le 11 septembre 2022).
- Malhi Y., Gardner T.A., Goldsmith G.R., Silman M.R., et Zelazowski P. 2014. Tropical Forests in the Anthropocene. *Annual Review of Environment and Resources*, 39(1), p. 125-159. DOI : 10.1146/annurev-environ-030713-155141 (Consulté le 11 septembre 2022).
- Melito M., Metzger J.P., et de Oliveira A.A. 2018. Landscape-level effects on aboveground biomass of tropical forests: A conceptual framework. *Global Change Biology*, 24(2), p. 597-607. DOI : 10.1111/gcb.13970 (Consulté le 11 septembre 2022).
- Millennium Ecosystem Assessment (Program), éd. 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, DC : Island Press, 137 p. Disponible sur : <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf> (Consulté le 11 septembre 2022).
- Mitchell A.L., Rosenqvist A., et Mora B. 2017. Current remote sensing approaches to monitoring forest degradation in support of countries measurement, reporting and verification (MRV) systems for REDD+. *Carbon Balance and Management*, 12(1), p. 9. DOI : 10.1186/s13021-017-0078-9 (Consulté le 11 septembre 2022).
- Pal M. et Mather P.M. 2005. Support vector machines for classification in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 26(5), p. 1007-1011. DOI : 10.1080/01431160512331314083 (Consulté le 11 septembre 2022).

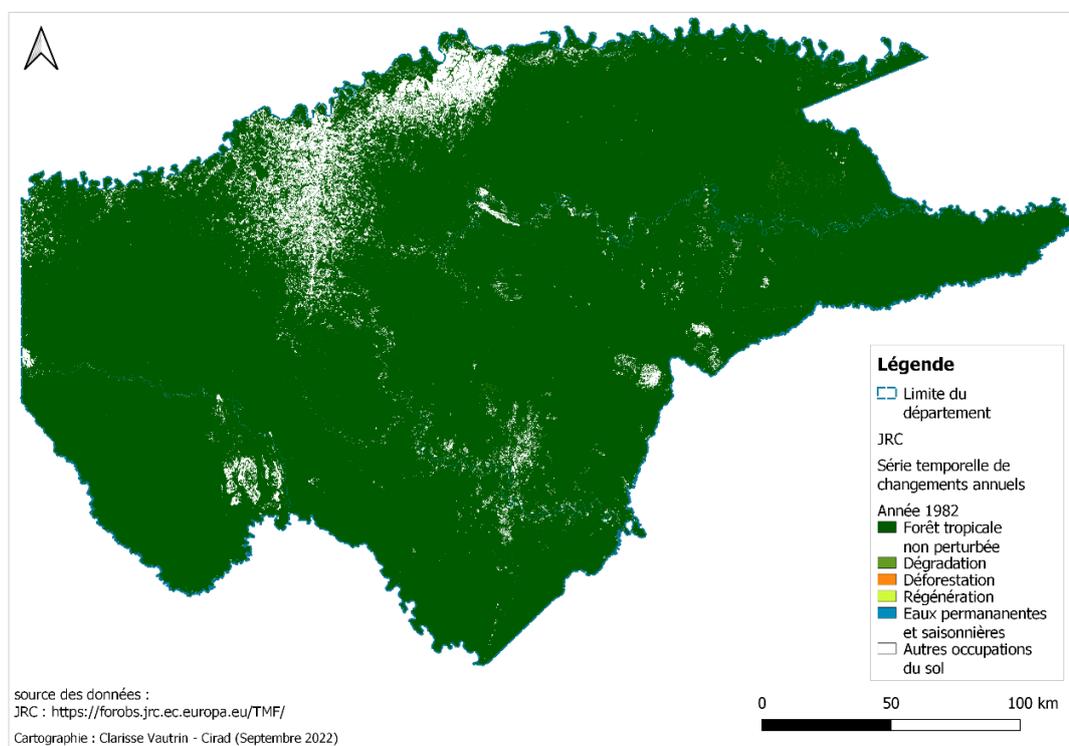
- San-Miguel-Ayanz J. et Ravail N. 2005. Active Fire Detection for Fire Emergency Management: Potential and Limitations for the Operational Use of Remote Sensing. *Natural Hazards*, 35(3), p. 361-376. DOI : 10.1007/s11069-004-1797-2 (Consulté le 11 septembre 2022).
- Sist, Doumenge, Gond, Tassin, Trébuchon. 2021. *Vivre avec les forêts tropicales*. MUSEO. , 216 p. Disponible sur : [https://agroparistech.focus.universite-paris-saclay.fr/prim-explore/fulldisplay?docid=33PPA-AGR\\_ILS208076&context=L&vid=33PPA-AGR\\_VU1&lang=fr\\_FR&search\\_scope=default\\_scope&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=default\\_tab&query=any,contains,vivre%20avec%20les%20forêts%20tropicales](https://agroparistech.focus.universite-paris-saclay.fr/prim-explore/fulldisplay?docid=33PPA-AGR_ILS208076&context=L&vid=33PPA-AGR_VU1&lang=fr_FR&search_scope=default_scope&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=default_tab&query=any,contains,vivre%20avec%20les%20forêts%20tropicales) (Consulté le 11 septembre 2022).
- Tarazona Y. et Miyasiro-López M. 2020. Monitoring tropical forest degradation using remote sensing. Challenges and opportunities in the Madre de Dios region, Peru. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 19, p. 100337. DOI : 10.1016/j.rsase.2020.100337 (Consulté le 11 septembre 2022).
- Thompson I.D., Guariguata M.R., Okabe K., Bahamondez C., Nasi R., Heymell V., et Sabogal C. 2013. An Operational Framework for Defining and Monitoring Forest Degradation. *Ecology and Society*, 18(2), p. art20. DOI : 10.5751/ES-05443-180220 (Consulté le 11 septembre 2022).
- Tyukavina A., Potapov P., Hansen M.C., Pickens A.H., Stehman S.V., Turubanova S., Parker D., Zalles V., Lima A., Kommareddy I., Song X.-P., Wang L., et Harris N. 2022. Global Trends of Forest Loss Due to Fire From 2001 to 2019. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, p. 825190. DOI : 10.3389/frsen.2022.825190 (Consulté le 11 septembre 2022).

## 10 ANNEXES

### Annexe 1 : États initiaux (1982) - Madre de Dios et Guaviare



A



B

Figure 9 : Carte de l'état initial (1982) de Madre de Dios (A) et de Guaviare (B)

Occupations des sols dans les deux départements Surfaces en km <sup>2</sup>										
Année	Madre de Dios					Guaviare				
	Forêts non perturbées	Dégradation	Déforestation nette	Régénération	Autres occupations du sol	Forêts non perturbées	Dégradation	Déforestation nette	Régénération	Autres occupations du sol
1982	84 939	145	32	9	1 349	52 526	41	9	1	3 011
1990	84 469	546	93	16	1 349	51 946	516	104	12	3 011
2000	83 547	1 085	455	38	1 349	50 190	1 336	984	66	3 011
2010	82 069	1 908	869	119	1 350	48 405	1 956	1 809	388	3 011
2020	79 966	2 574	1 970	313	1 349	46 054	2 426	3 494	581	3 011

Tableau 1 : Statistiques d'occupation des sols dans les deux départements (surfaces en km<sup>2</sup>)

Occupation des sols dans les deux départements en % de la surface du département										
Année	Madre de Dios					Guaviare				
	Forêts non perturbées	Dégradation	Déforestation nette	Régénération	Autres occupations du sol	Forêts non perturbées	Dégradation	Déforestation nette	Régénération	Autres occupations du sol
1982	97,4%	0,2%	0,0%	0,0%	1,5%	94,0%	0,1%	0,0%	0,0%	5,4%
1990	96,9%	0,6%	0,1%	0,0%	1,5%	92,9%	0,9%	0,2%	0,0%	5,4%
2000	95,8%	1,2%	0,5%	0,0%	1,5%	89,8%	2,4%	1,8%	0,1%	5,4%
2010	94,2%	2,2%	1,0%	0,1%	1,5%	86,6%	3,5%	3,2%	0,7%	5,4%
2020	91,7%	3,0%	2,3%	0,4%	1,5%	82,4%	4,3%	6,2%	1,0%	5,4%

Tableau 2 : Statistiques d'occupation des sols dans les deux départements, en proportion de surface du département

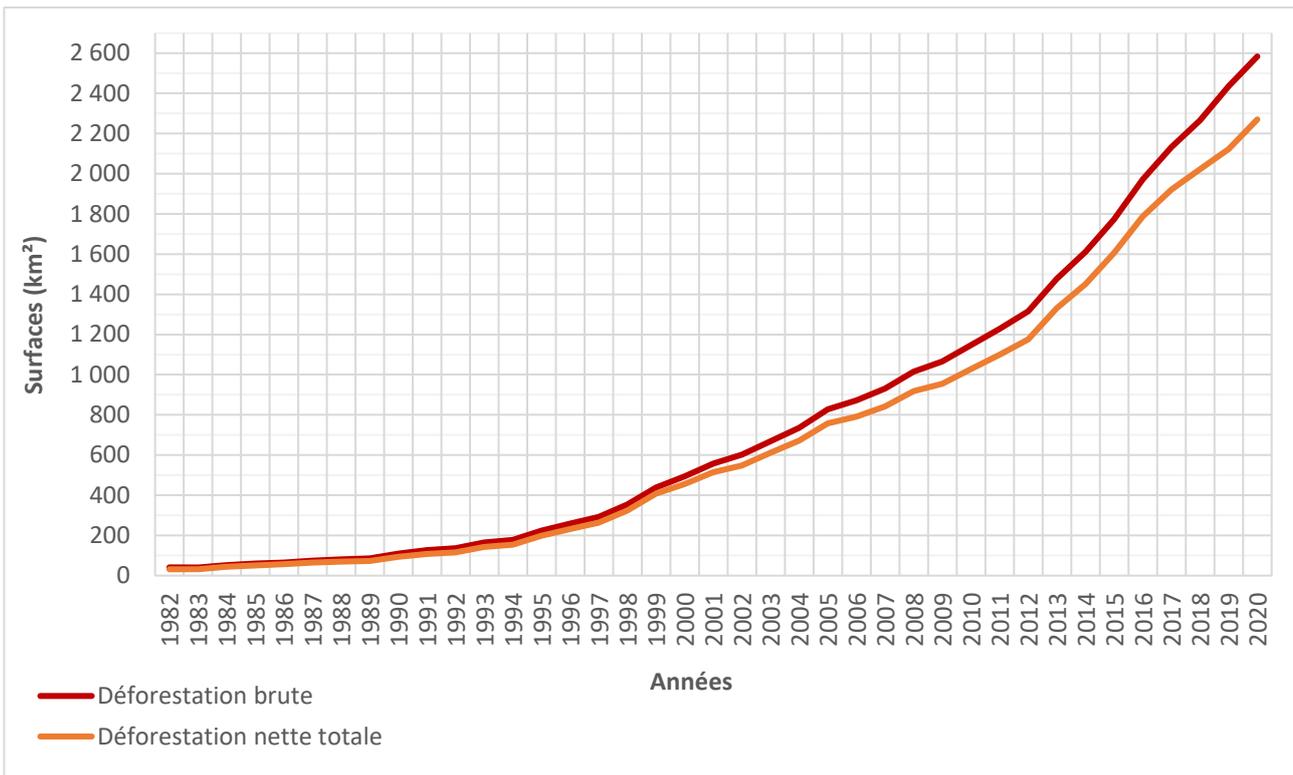
## Annexe 2 : Série temporelle de changement annuels du JRC – Madre de Dios et Guaviare

<b>Madre de Dios – Données du JRC : Série temporelle de changements annuels (1982-2020)</b>						
Surfaces (km <sup>2</sup> )						
Années	Forêts non perturbées	Dégradation	Déforestation nette : conversion à usage terrestre	Régénération	Eaux permanentes et saisonnières	Autres occupations du sol
1982	84 939	145	32	9	693	1 349
1983	84 939	145	32	9	693	1 349
1984	84 871	202	43	9	693	1 349
1985	84 821	244	51	9	693	1 349
1986	84 775	284	56	9	693	1 349
1987	84 692	359	65	9	693	1 349
1988	84 638	406	69	11	693	1 349
1989	84 576	464	73	13	693	1 349
1990	84 469	546	93	16	693	1 349
1991	84 384	615	107	19	694	1 349
1992	84 343	645	115	21	694	1 349
1993	84 232	728	142	22	694	1 349
1994	84 203	743	153	25	694	1 349
1995	84 122	779	198	25	694	1 349
1996	84 058	809	231	27	694	1 349
1997	83 981	851	263	29	694	1 349
1998	83 886	885	323	30	694	1 349
1999	83 697	989	407	31	694	1 349
2000	83 547	1 085	455	38	694	1 349
2001	83 375	1 193	513	43	695	1 349
2002	83 284	1 239	547	53	695	1 349
2003	83 138	1 319	609	57	696	1 349
2004	82 994	1 395	567	64	799	1 349
2005	82 762	1 535	642	70	809	1 349
2006	82 652	1 601	668	80	817	1 349
2007	82 511	1 682	710	89	826	1 349
2008	82 326	1 784	774	97	837	1 349
2009	82 218	1 841	803	111	845	1 349
2010	82 069	1 908	869	119	852	1 350
2011	81 930	1 964	934	130	858	1 351
2012	81 783	2 024	1 003	140	866	1 351
2013	81 616	2 030	1 151	146	873	1 351
2014	81 470	2 041	1 262	162	881	1 351
2015	81 319	2 030	1 415	168	884	1 351
2016	81 050	2 100	1 555	184	926	1 351
2017	80 743	2 249	1 657	211	956	1 350
2018	80 449	2 410	1 765	243	950	1 350
2019	80 168	2 520	1 855	314	961	1 349
2020	79 966	2 574	1 970	313	994	1 349

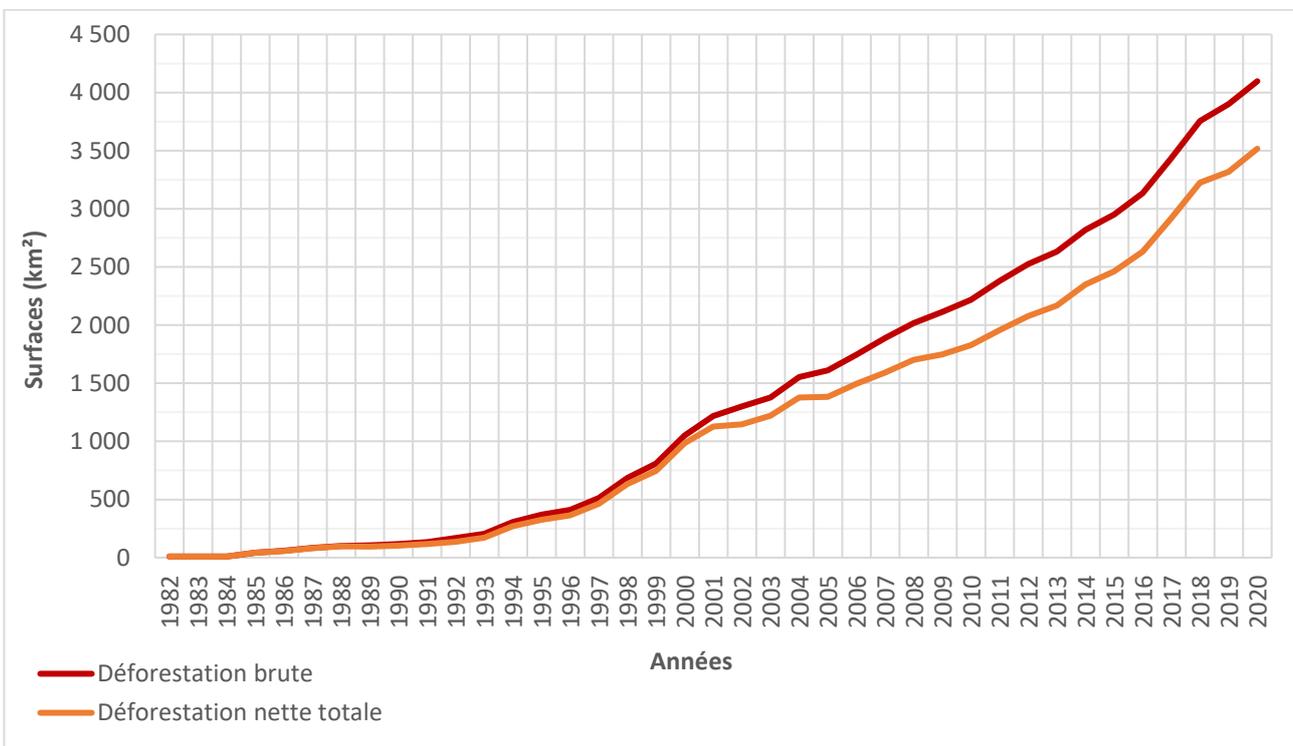
Tableau 3 : Statistiques de la série temporelle de changements annuels du JRC - Madre de Dios

Guaviare – Données du JRC : Série temporelle de changements annuels (1982-2020)						
Surfaces (km <sup>2</sup> )						
Années	Forêts non perturbées	Dégradation	Déforestation nette	Régénération	Eaux permanentes et saisonnières	Autres occupations du sol
1982	52 526	41	9	1	318	3 011
1983	52 526	41	9	1	318	3 011
1984	52 525	42	9	1	318	3 011
1985	52 431	103	42	1	318	3 011
1986	52 360	158	57	1	318	3 011
1987	52 265	229	82	1	318	3 011
1988	52 087	389	99	3	318	3 011
1989	52 036	435	96	9	318	3 011
1990	51 946	516	104	12	318	3 011
1991	51 778	665	117	17	318	3 011
1992	51 720	688	135	33	318	3 011
1993	51 626	746	172	34	318	3 011
1994	51 378	891	272	36	318	3 011
1995	51 249	959	326	43	318	3 011
1996	51 168	1 000	363	47	318	3 011
1997	51 012	1 051	464	50	318	3 011
1998	50 800	1 092	632	54	318	3 011
1999	50 572	1 197	745	62	318	3 011
2000	50 190	1 336	984	66	318	3 011
2001	49 880	1 480	1 127	90	318	3 011
2002	49 714	1 562	1 147	154	318	3 011
2003	49 562	1 637	1 220	159	318	3 011
2004	49 321	1 704	1 361	175	334	3 011
2005	49 236	1 729	1 366	229	335	3 011
2006	49 062	1 771	1 478	250	335	3 011
2007	48 889	1 799	1 574	297	336	3 011
2008	48 675	1 885	1 684	315	336	3 011
2009	48 536	1 929	1 729	365	337	3 011
2010	48 405	1 956	1 809	388	337	3 011
2011	48 233	1 965	1 937	422	337	3 011
2012	48 070	1 983	2 059	445	337	3 011
2013	47 962	1 983	2 148	465	337	3 011
2014	47 809	1 949	2 330	470	338	3 011
2015	47 688	1 940	2 442	488	338	3 011
2016	47 507	1 935	2 611	503	339	3 011
2017	47 155	1 985	2 898	517	340	3 011
2018	46 643	2 180	3 203	529	340	3 011
2019	46 371	2 306	3 297	581	341	3 011
2020	46 054	2 426	3 494	581	341	3 011

Tableau 4 : Statistiques de la série temporelle de changements annuels du JRC – Guaviare



**A**



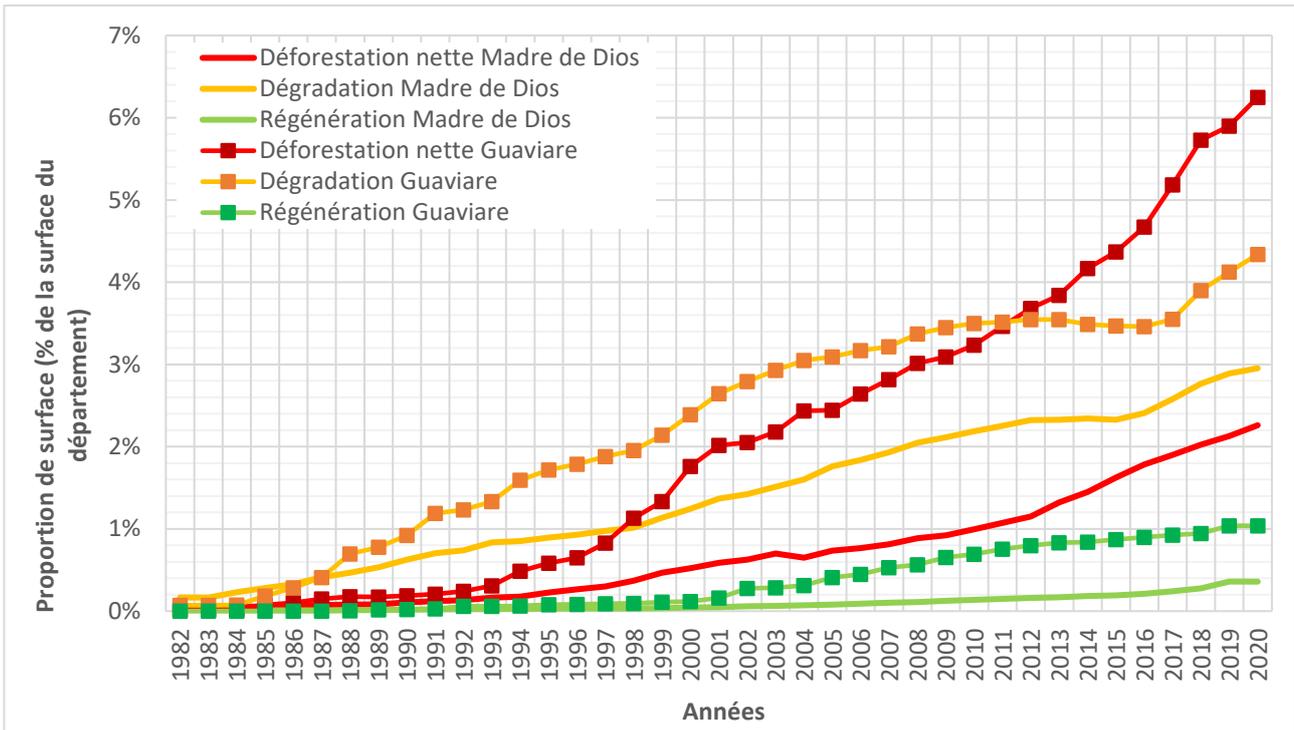
**B**

Figure 10 : Évolution de la déforestation brute et déforestation nette sur la période 1982 à 2020, à Madre de Dios (A) et à Guaviare (B)

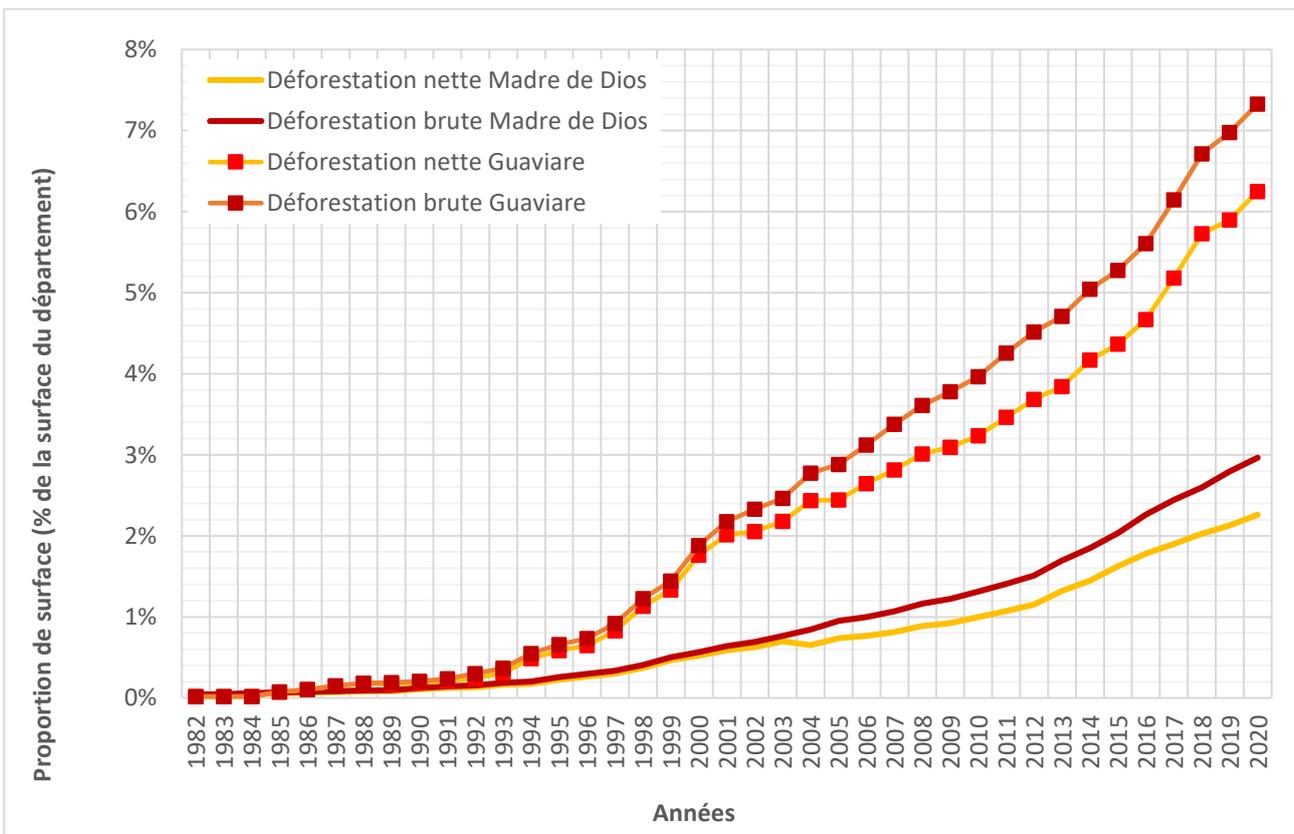
### Annexe 3 : Série temporelle de changement annuels du JRC – Comparaison des processus dans les deux départements

<b>Madre de Dios et Guaviare - Données du JRC : Comparaison de l'évolution de la dégradation, déforestation, régénération dans les 2 départements sur la période 1982-2020</b>								
En % de la surface du département								
Années	Madre de Dios				Guaviare			
	Dégradation	Déforestation nette : conversion à usage terrestre	Déforestation brute	Régénération	Dégradation	Déforestation nette	Déforestation brute	Régénération
1982	0,17%	0,04%	0,05%	0,01%	0,07%	0,02%	0,02%	0,00%
1983	0,17%	0,04%	0,05%	0,01%	0,07%	0,02%	0,02%	0,00%
1984	0,23%	0,05%	0,06%	0,01%	0,07%	0,02%	0,02%	0,00%
1985	0,28%	0,06%	0,07%	0,01%	0,19%	0,07%	0,08%	0,00%
1986	0,33%	0,06%	0,07%	0,01%	0,28%	0,10%	0,10%	0,00%
1987	0,41%	0,07%	0,08%	0,01%	0,41%	0,15%	0,15%	0,00%
1988	0,47%	0,08%	0,09%	0,01%	0,70%	0,18%	0,18%	0,00%
1989	0,53%	0,08%	0,10%	0,01%	0,78%	0,17%	0,19%	0,02%
1990	0,63%	0,11%	0,13%	0,02%	0,92%	0,19%	0,21%	0,02%
1991	0,71%	0,12%	0,14%	0,02%	1,19%	0,21%	0,24%	0,03%
1992	0,74%	0,13%	0,16%	0,02%	1,23%	0,24%	0,30%	0,06%
1993	0,84%	0,16%	0,19%	0,03%	1,33%	0,31%	0,37%	0,06%
1994	0,85%	0,18%	0,20%	0,03%	1,59%	0,49%	0,55%	0,06%
1995	0,89%	0,23%	0,26%	0,03%	1,72%	0,58%	0,66%	0,08%
1996	0,93%	0,26%	0,30%	0,03%	1,79%	0,65%	0,73%	0,08%
1997	0,98%	0,30%	0,34%	0,03%	1,88%	0,83%	0,92%	0,09%
1998	1,02%	0,37%	0,41%	0,03%	1,95%	1,13%	1,23%	0,10%
1999	1,13%	0,47%	0,50%	0,04%	2,14%	1,33%	1,44%	0,11%
2000	1,24%	0,52%	0,57%	0,04%	2,39%	1,76%	1,88%	0,12%
2001	1,37%	0,59%	0,64%	0,05%	2,65%	2,02%	2,18%	0,16%
2002	1,42%	0,63%	0,69%	0,06%	2,79%	2,05%	2,33%	0,28%
2003	1,51%	0,70%	0,77%	0,07%	2,93%	2,18%	2,47%	0,28%
2004	1,60%	0,65%	0,84%	0,07%	3,05%	2,43%	2,78%	0,31%
2005	1,76%	0,74%	0,95%	0,08%	3,09%	2,44%	2,88%	0,41%
2006	1,84%	0,77%	1,00%	0,09%	3,17%	2,64%	3,12%	0,45%
2007	1,93%	0,81%	1,07%	0,10%	3,22%	2,82%	3,38%	0,53%
2008	2,05%	0,89%	1,16%	0,11%	3,37%	3,01%	3,61%	0,56%
2009	2,11%	0,92%	1,22%	0,13%	3,45%	3,09%	3,78%	0,65%
2010	2,19%	1,00%	1,32%	0,14%	3,50%	3,24%	3,96%	0,69%
2011	2,25%	1,07%	1,41%	0,15%	3,52%	3,46%	4,25%	0,76%
2012	2,32%	1,15%	1,51%	0,16%	3,55%	3,68%	4,51%	0,80%
2013	2,33%	1,32%	1,69%	0,17%	3,55%	3,84%	4,71%	0,83%
2014	2,34%	1,45%	1,85%	0,19%	3,49%	4,17%	5,04%	0,84%
2015	2,33%	1,62%	2,03%	0,19%	3,47%	4,37%	5,28%	0,87%
2016	2,41%	1,78%	2,26%	0,21%	3,46%	4,67%	5,61%	0,90%
2017	2,58%	1,90%	2,45%	0,24%	3,55%	5,18%	6,15%	0,92%
2018	2,76%	2,03%	2,60%	0,28%	3,90%	5,73%	6,71%	0,95%
2019	2,89%	2,13%	2,79%	0,36%	4,12%	5,90%	6,98%	1,04%
2020	2,95%	2,26%	2,96%	0,36%	4,34%	6,25%	7,33%	1,04%

Tableau 5 : Statistiques des processus sur les 2 départements, en proportion de surface du département



A



B

Figure 11 : Évolution des processus sur la période 1982 – 2020 : comparaison entre les deux départements : comparaison des trois processus (A) et comparaison de la déforestation brute et déforestation nette (B)

## Annexe 4 : Événements de dégradation – Madre de Dios et Guaviare

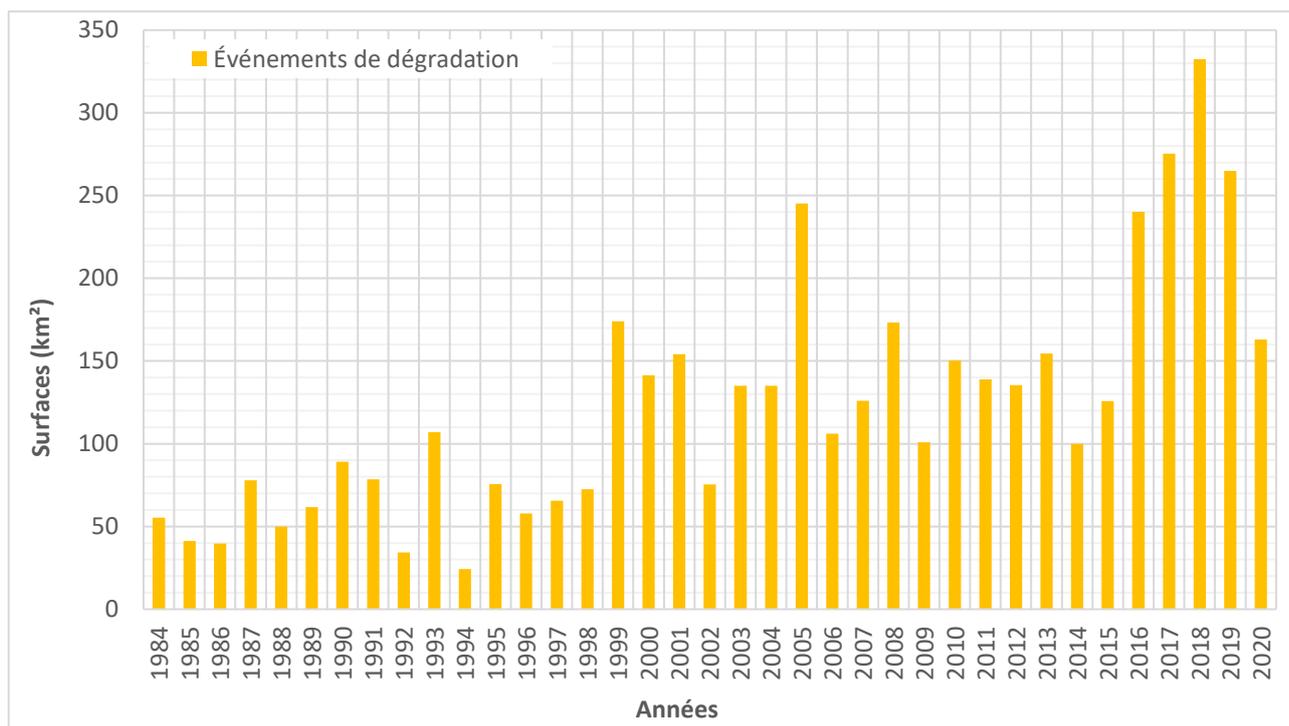


Figure 12 : Événements successifs de dégradation – Madre de Dios

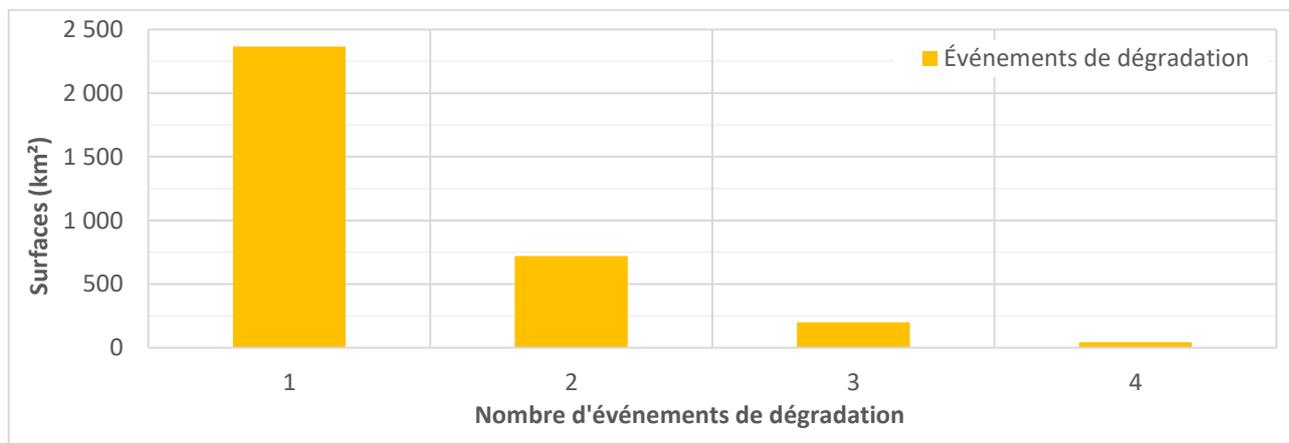


Figure 13 : Surfaces dégradées en fonction du nombre d'événements de dégradation – Madre de Dios

Données du JRC : Événements de dégradation sur la période 1982-2020 Somme des surfaces par nombre d'événements (km²)			
Nombre d'événements de dégradation	Événements de dégradation	% de la surface dégradée totale	% de la surface du territoire
1	2 368	71%	2,7%
2	720	22%	0,8%
3	199	6%	0,2%
4	44	1%	0,0%
<b>Total</b>	<b>3 330</b>	<b>100%</b>	<b>3,8%</b>

Tableau 6 : Statistiques des surfaces dégradées selon le nombre d'événements de dégradation – Madre de Dios

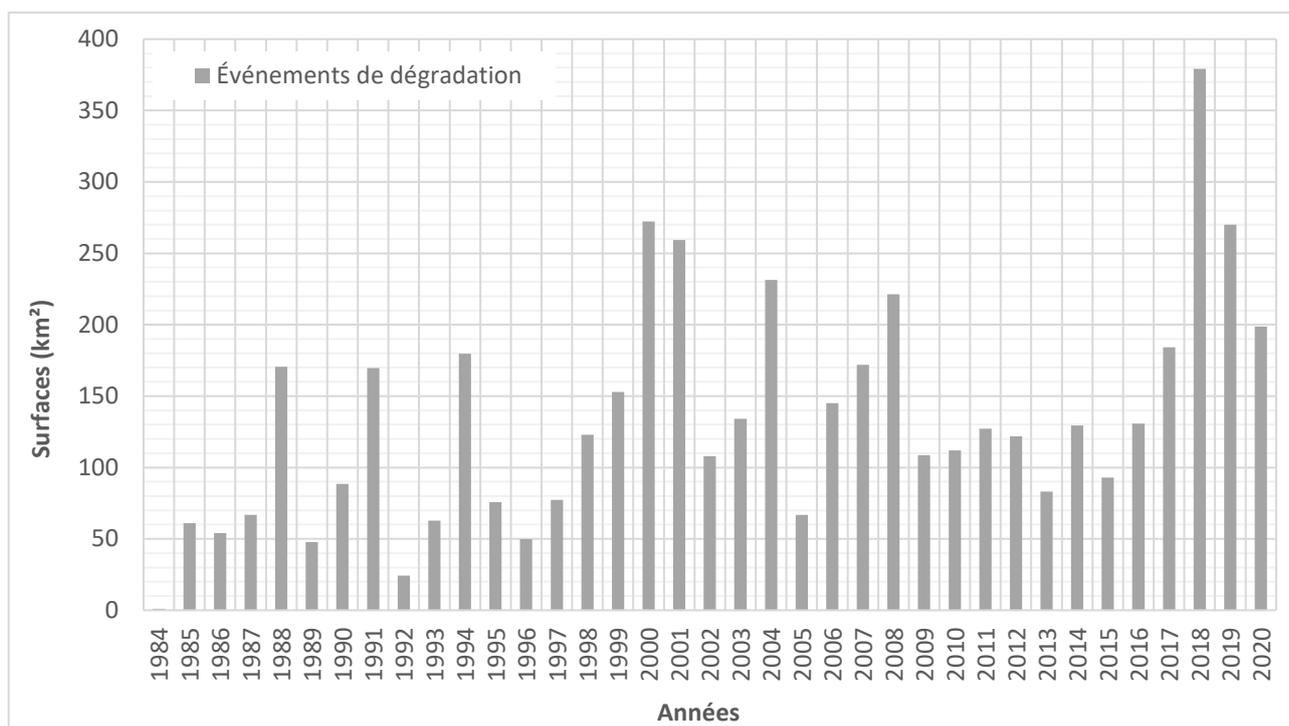


Figure 14 : Événements successifs de dégradation – Guaviare

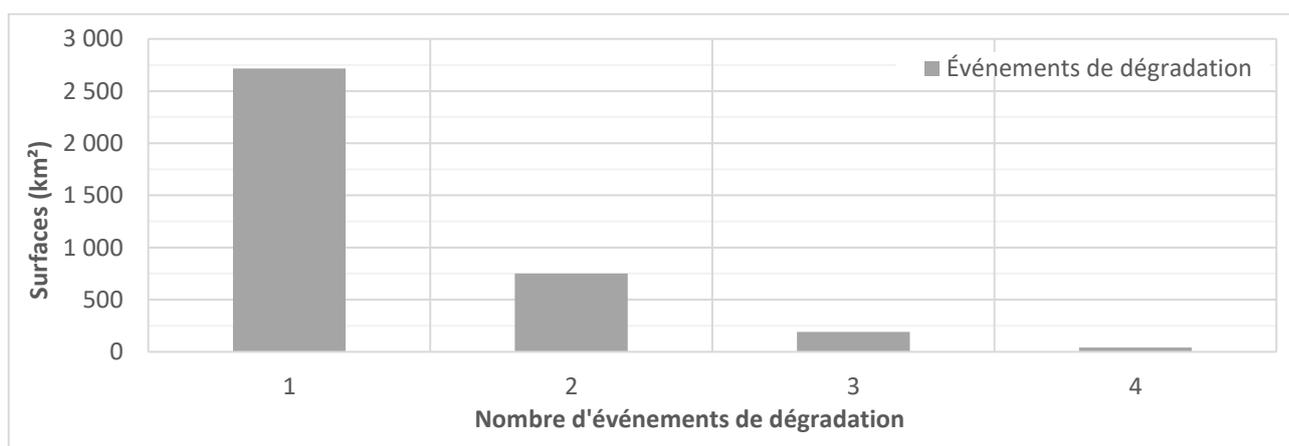


Figure 15 : Surfaces dégradées en fonction du nombre d'événements de dégradation – Guaviare

Données du JRC : Événements de dégradation sur la période 1982-2020			
Somme des surfaces par nombre d'événements (km²)			
Nombre d'évènements de dégradation	Événements de dégradation	% de la surface dégradée totale	% de la surface du territoire
1	2 715	73%	4,9%
2	752	20%	1,3%
3	192	5%	0,3%
4	39	1%	0,1%
<b>Total</b>	<b>3 699</b>	<b>100%</b>	<b>6,6%</b>

Tableau 7 : Statistiques des surfaces dégradées selon le nombre d'événements de dégradation – Guaviare

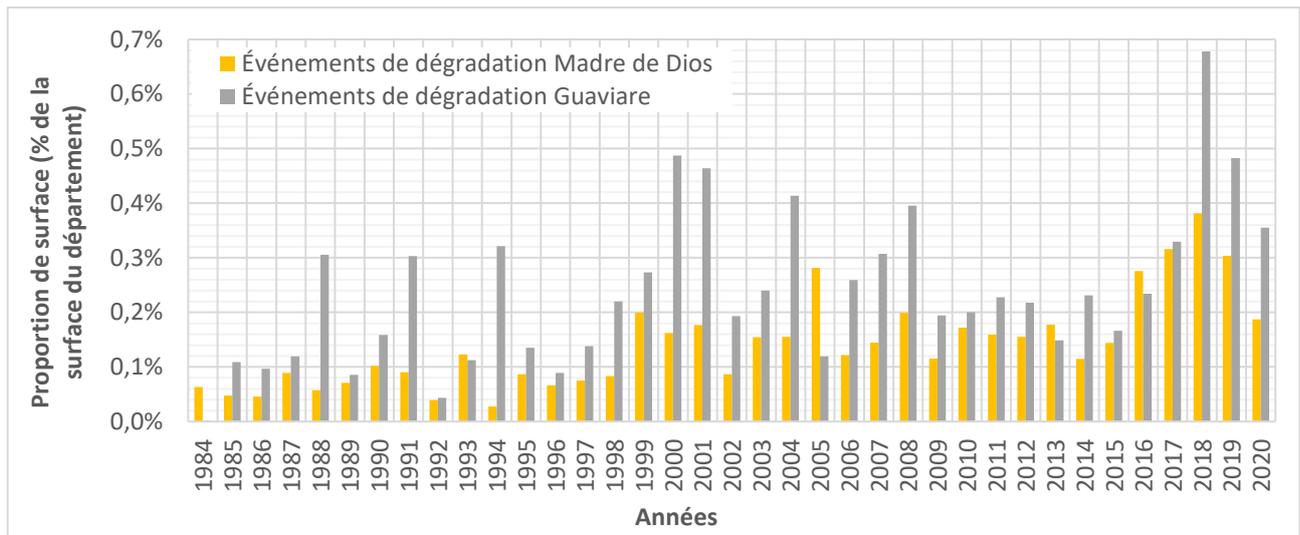


Figure 16 : Événements successifs de dégradation : comparaison des deux départements

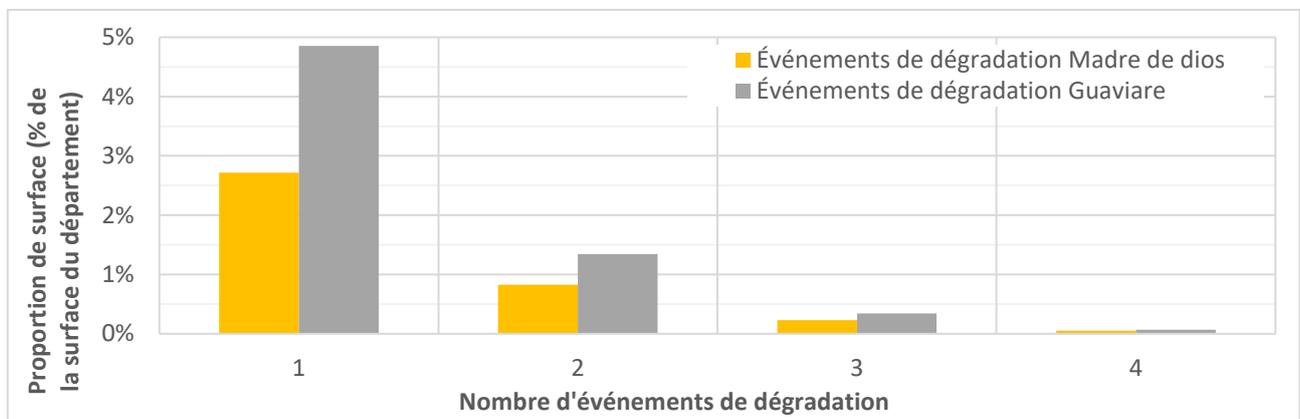


Figure 17 : Proportion de surfaces dégradées en fonction du nombre d'événements de dégradation : comparaison des deux départements

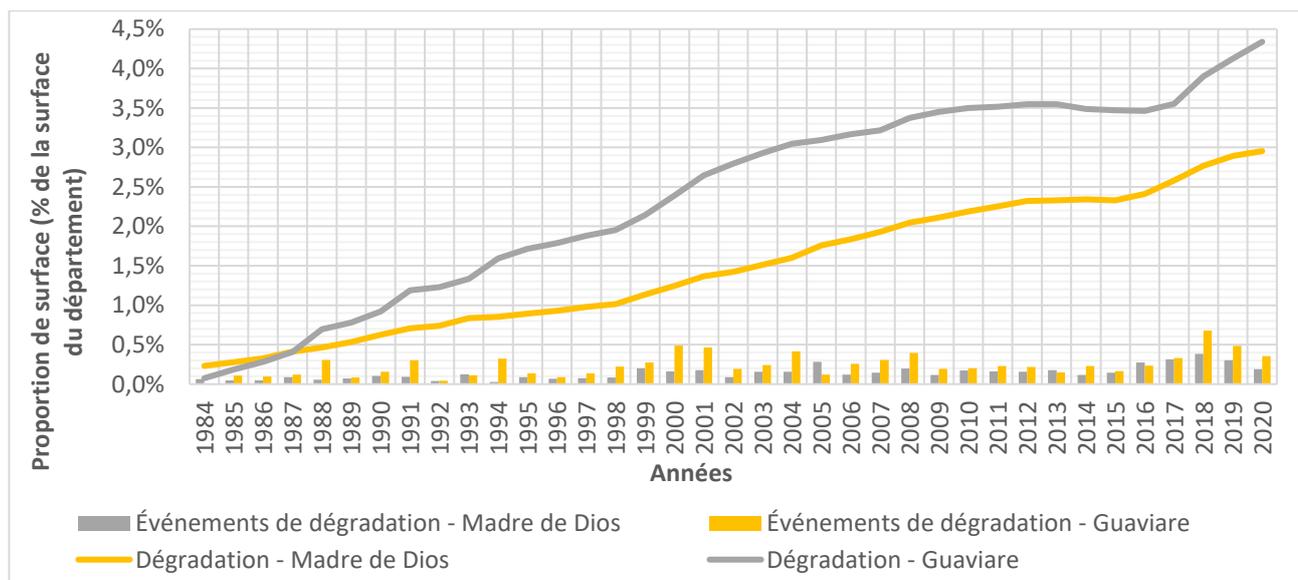


Figure 18 : Dégradation totale et événements de dégradation : comparaison des deux départements

## Annexe 5 : Année d'observation des perturbations (déforestation et dégradation) - Madre de Dios et Guaviare

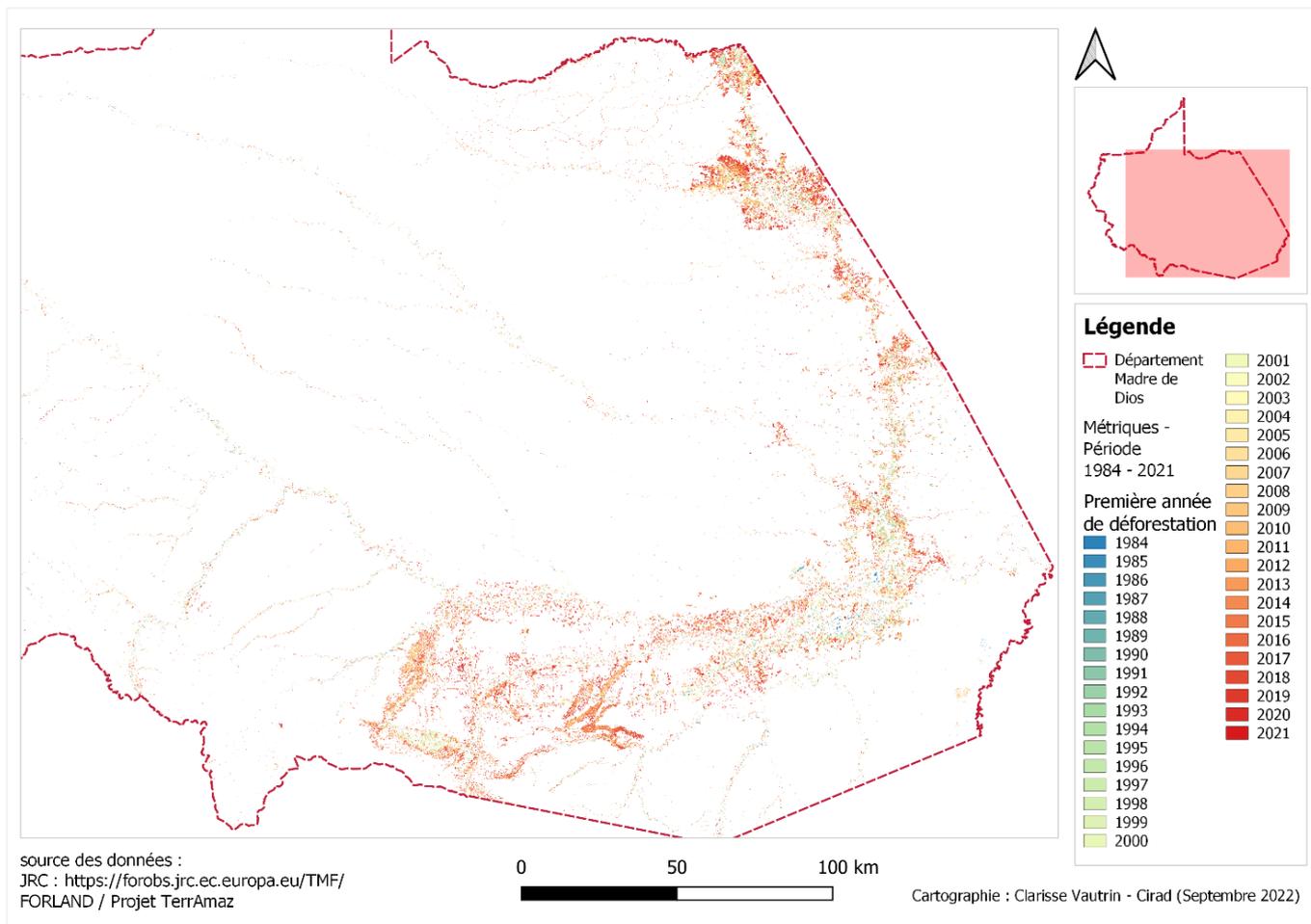


Figure 19 : Carte de l'année d'observation de la déforestation – Madre de Dios

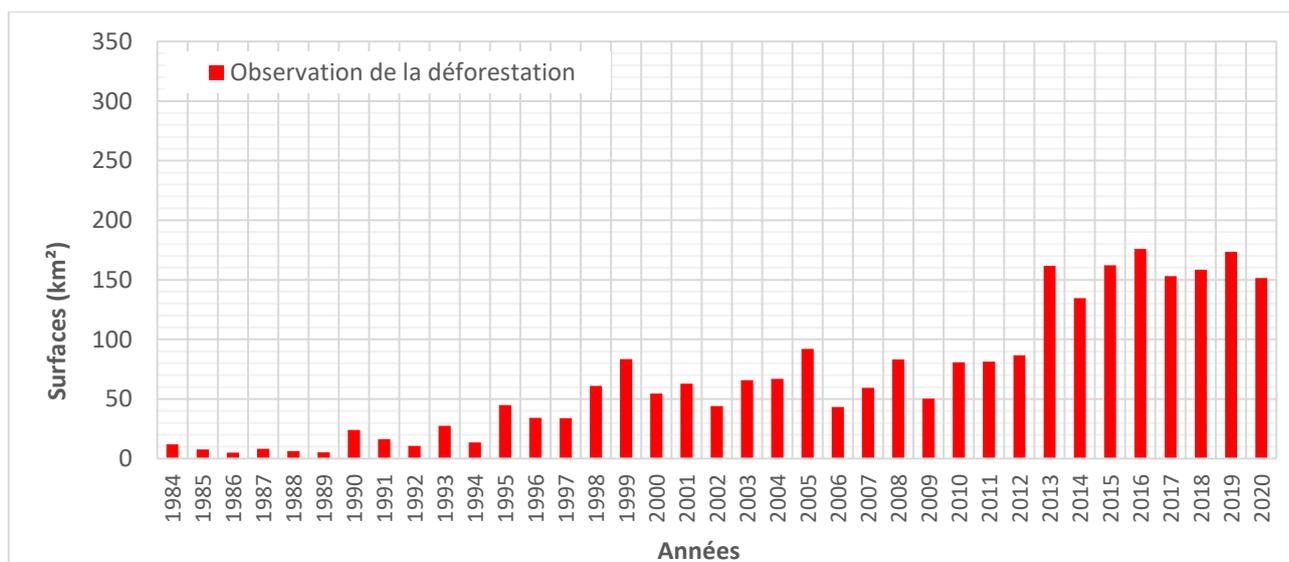


Figure 20 : Observation de la déforestation : surfaces déforestées par année – Madre de Dios

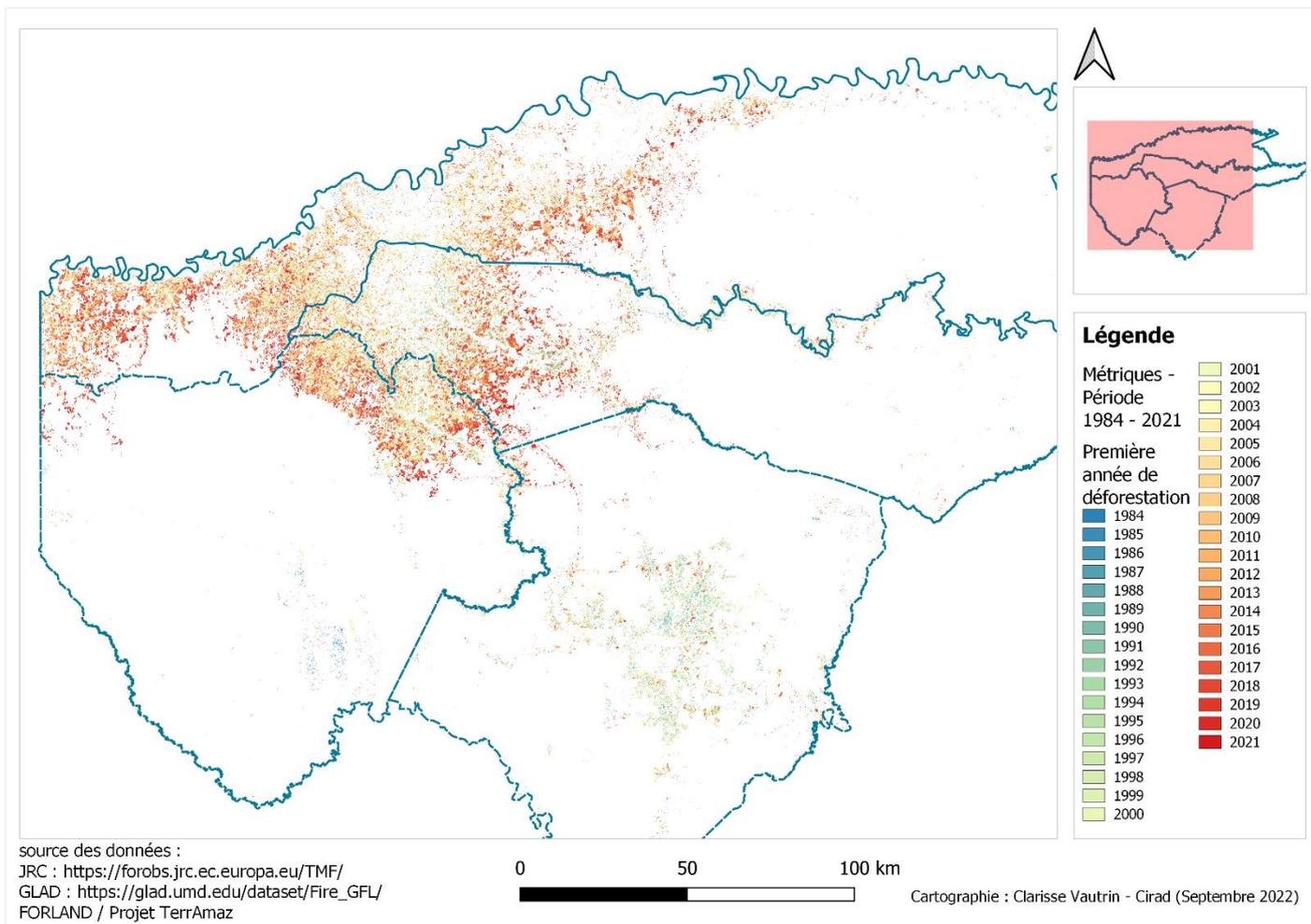


Figure 21 : Carte de l'année d'observation de la déforestation – Guaviare

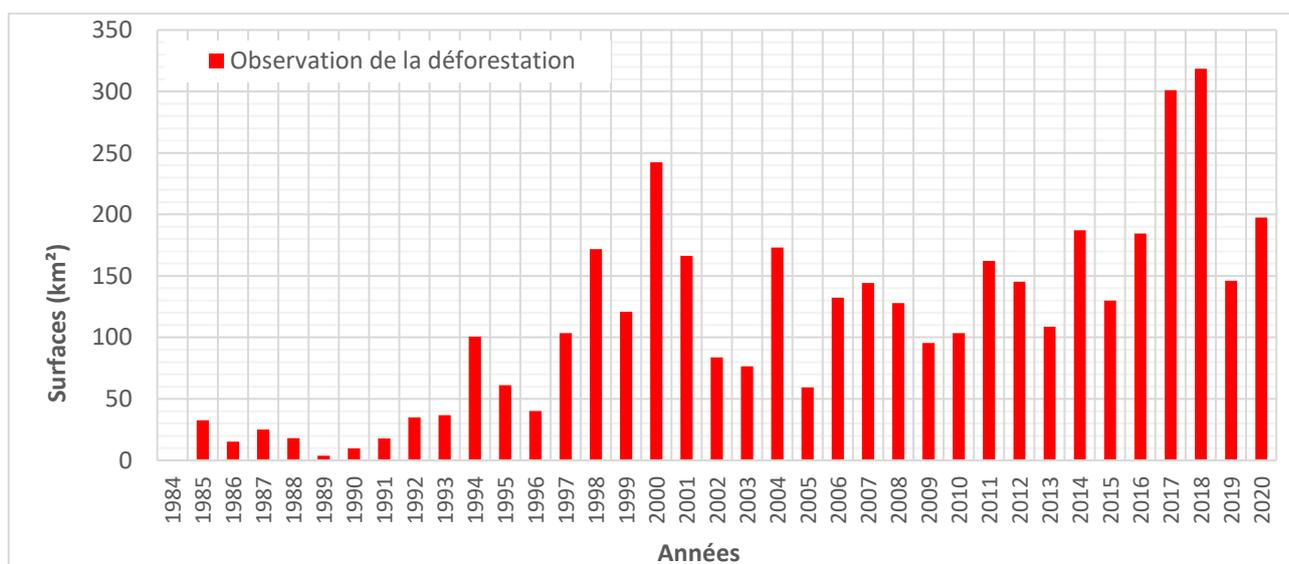


Figure 22 : Observation de la déforestation : surfaces déforestées par année – Guaviare

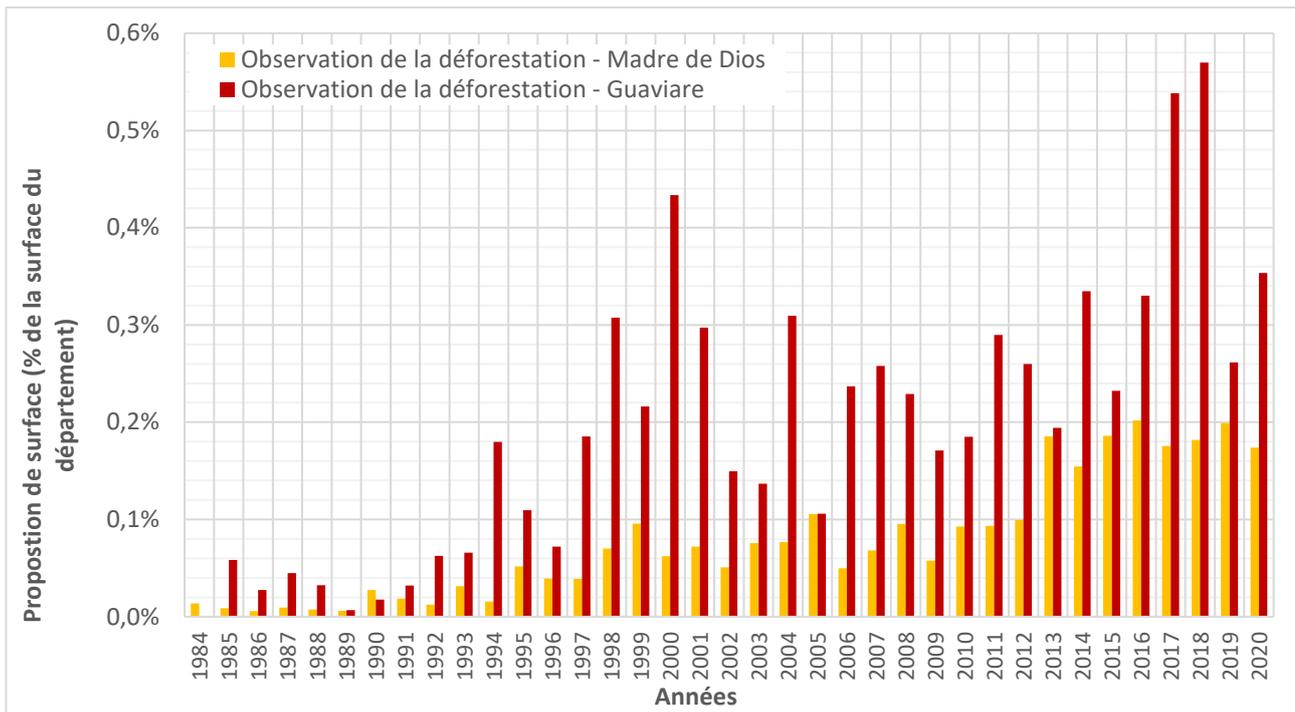


Figure 23 : Observation de la déforestation : surfaces déforestées par année : comparaison des deux départements

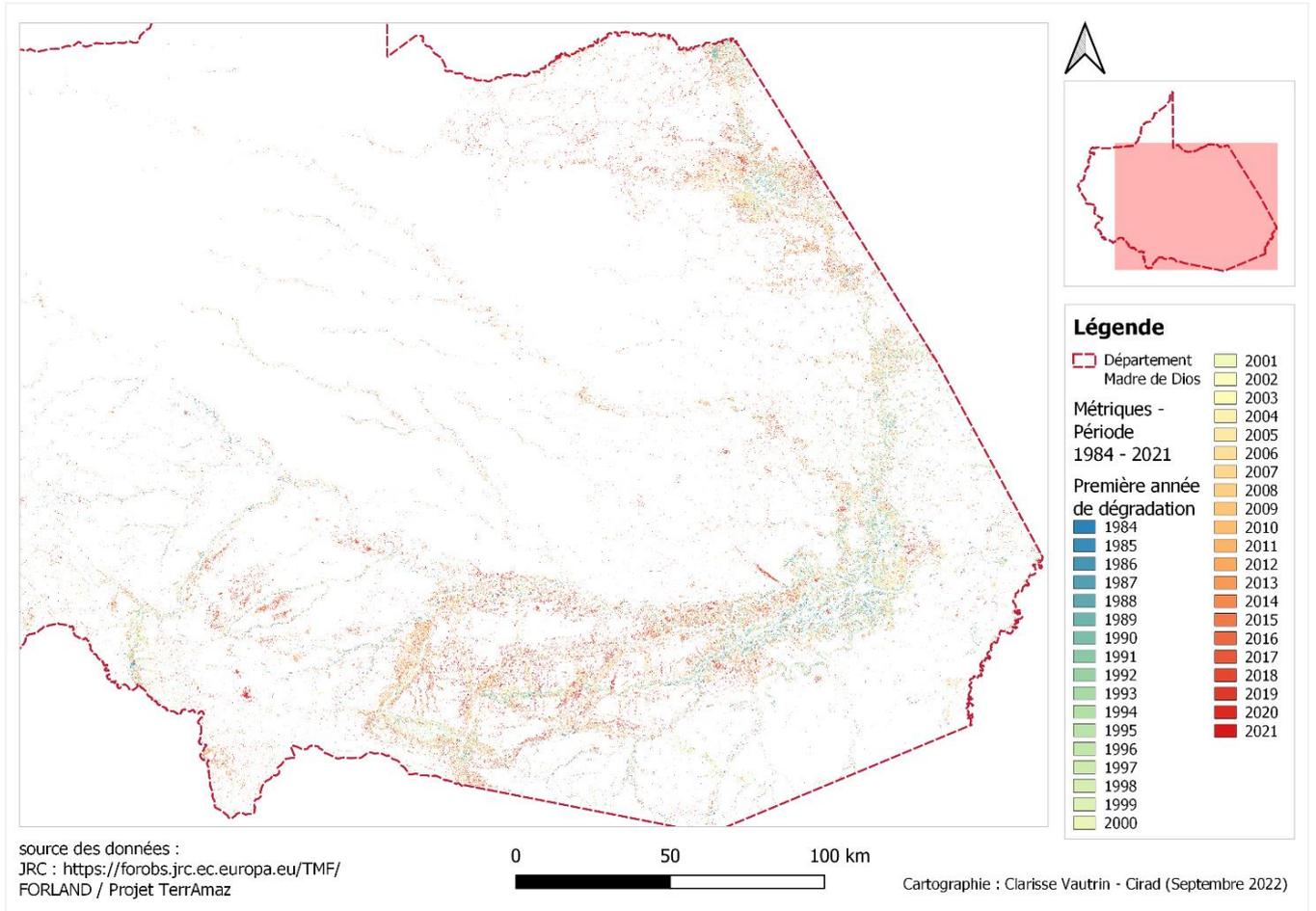


Figure 24 : Carte de l'année d'observation du premier événement de dégradation – Madre de Dios

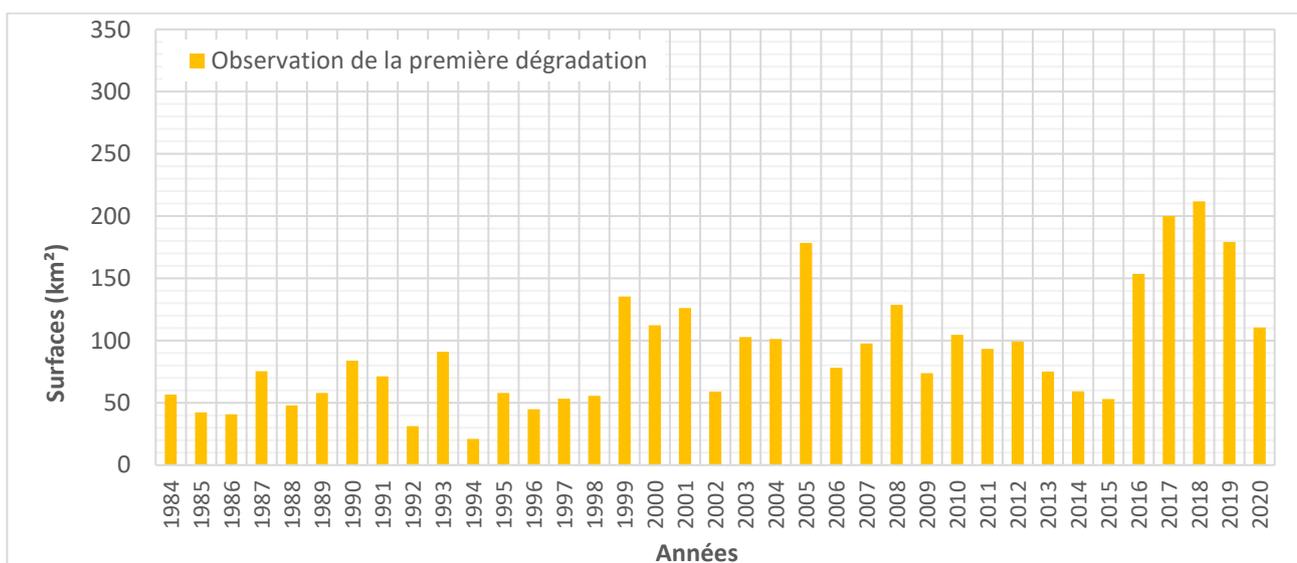


Figure 25 : Observation du premier événement de dégradation : surfaces dégradées par année – Madre de Dios

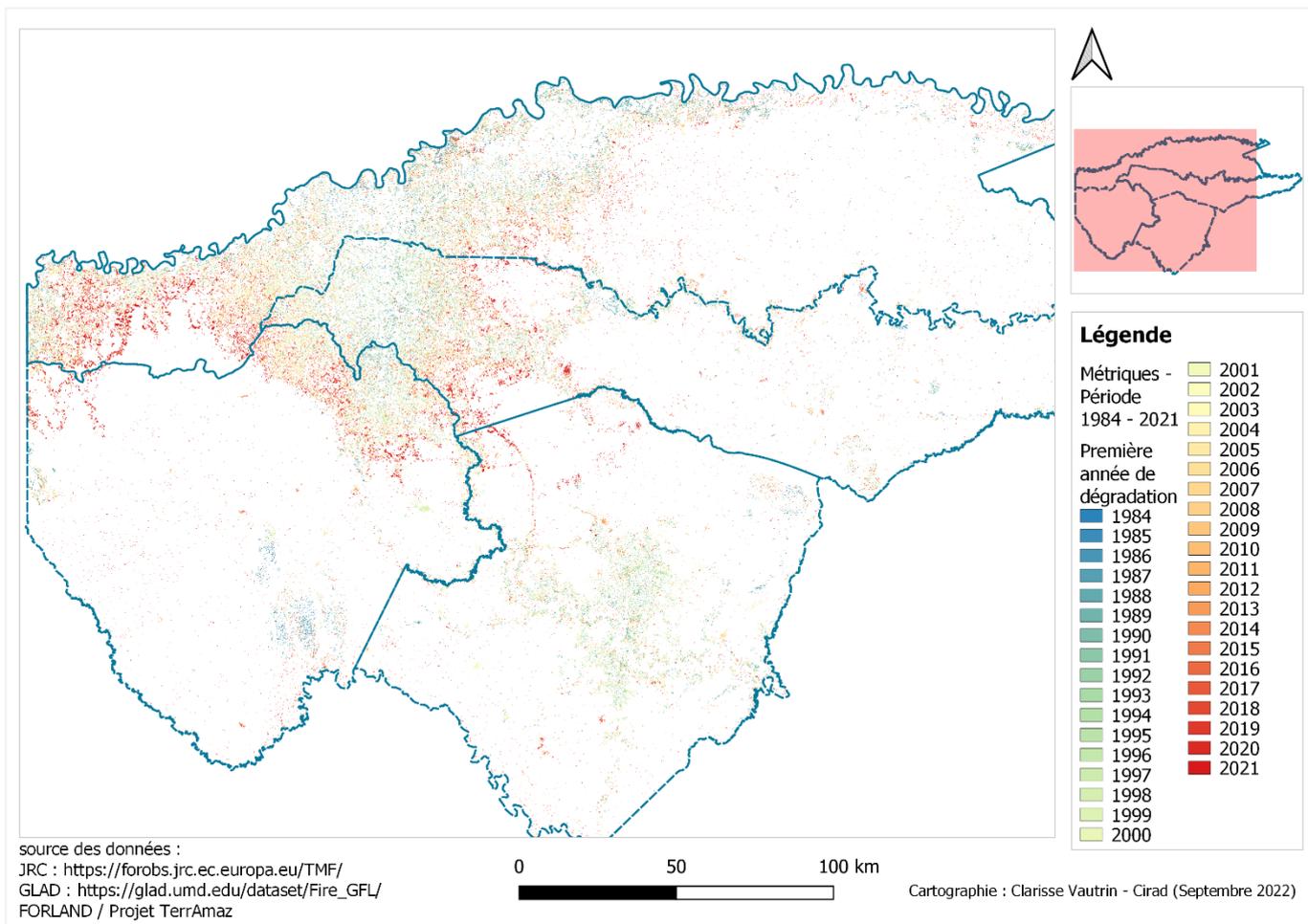


Figure 26 : Carte de l'année d'observation du premier événement de dégradation – Guaviare

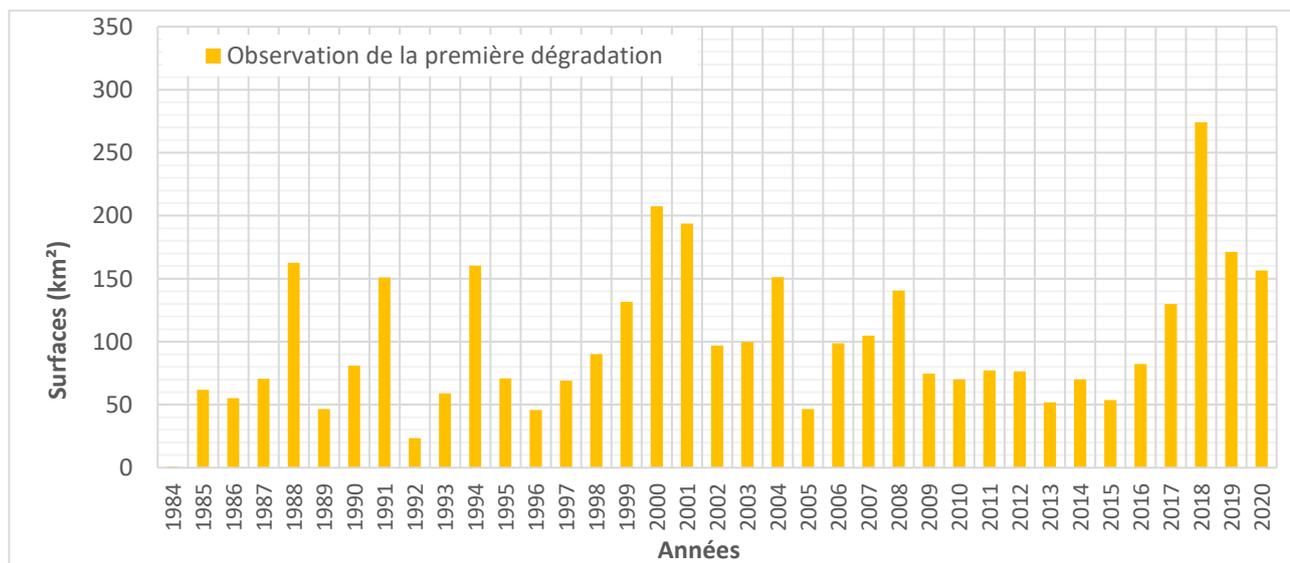


Figure 27 : Observation du premier événement de dégradation : surfaces dégradées par année – Guaviare

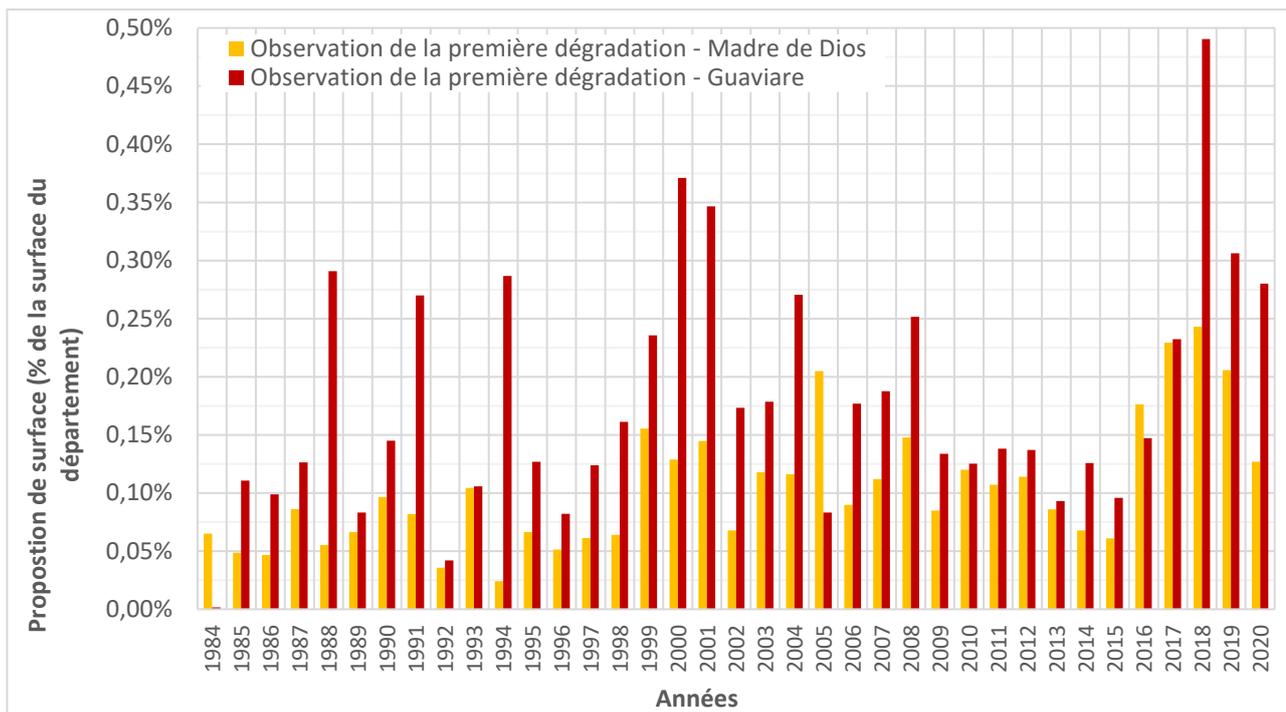


Figure 28 : Observation du premier événement de dégradation : surfaces dégradées par année : comparaison des deux départements

## Annexe 6 : GLAD – Madre de Dios et Guaviare

<b>Données de GLAD : évolution des feux à Madre de Dios</b> Surfaces (km <sup>2</sup> )		
Année	Feu	% de la surface du département
2001	2	0,00%
2002	2	0,00%
2003	2	0,00%
2004	4	0,00%
2005	11	0,01%
2006	4	0,00%
2007	6	0,01%
2008	5	0,01%
2009	2	0,00%
2010	7	0,01%
2011	4	0,00%
2012	9	0,01%
2013	3	0,00%
2014	7	0,01%
2015	5	0,01%
2016	25	0,03%
2017	18	0,02%
2018	15	0,02%
2019	36	0,04%
2020	23	0,03%

Tableau 8 : Statistiques des données feux de GLAD – Madre de Dios

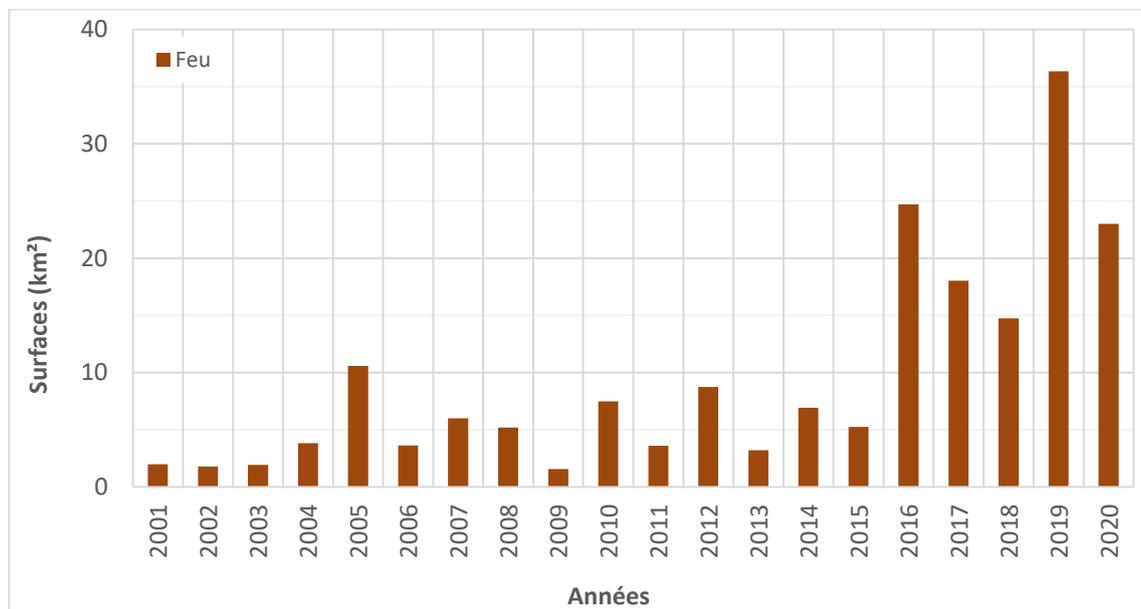


Figure 29 : Surfaces concernées par le feu selon les données de GLAD – Madre de Dios

Données de GLAD : évolution des feux à Madre de Dios Surfaces (km <sup>2</sup> )		
Année	Feu	% de la surface du département
2001	10	0,02%
2002	6	0,01%
2003	3	0,01%
2004	9	0,02%
2005	5	0,01%
2006	6	0,01%
2007	10	0,02%
2008	10	0,02%
2009	7	0,01%
2010	11	0,02%
2011	12	0,02%
2012	6	0,01%
2013	3	0,01%
2014	4	0,01%
2015	2	0,00%
2016	6	0,01%
2017	19	0,03%
2018	33	0,06%
2019	24	0,04%
2020	20	0,04%

Tableau 9 : Statistiques des données feux de GLAD – Guaviare

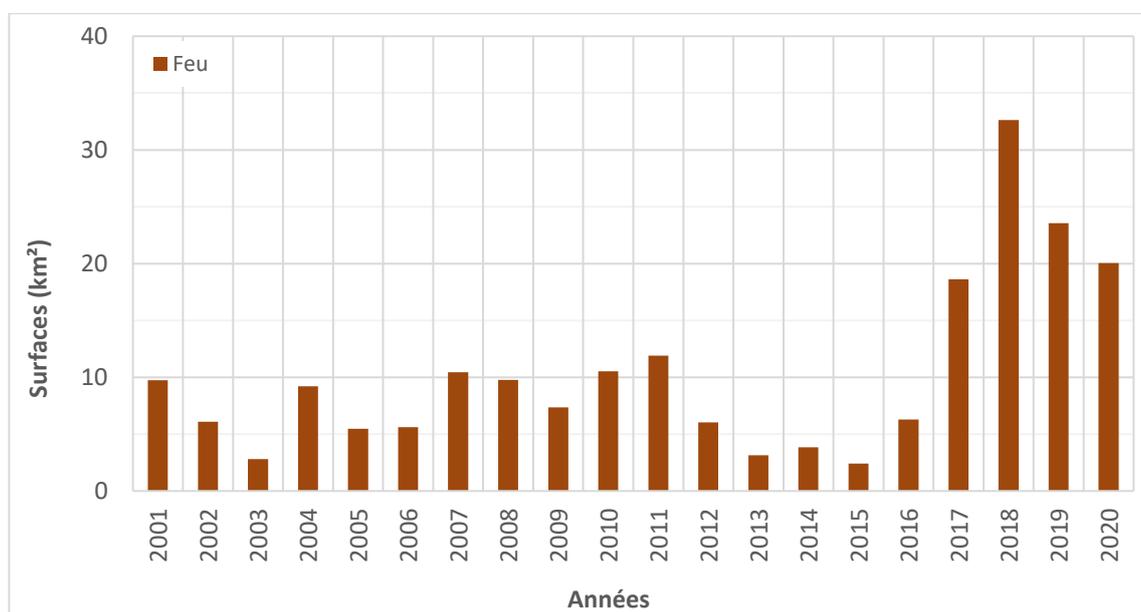


Figure 30 : Surfaces concernées par le feu selon les données de GLAD – Guaviare

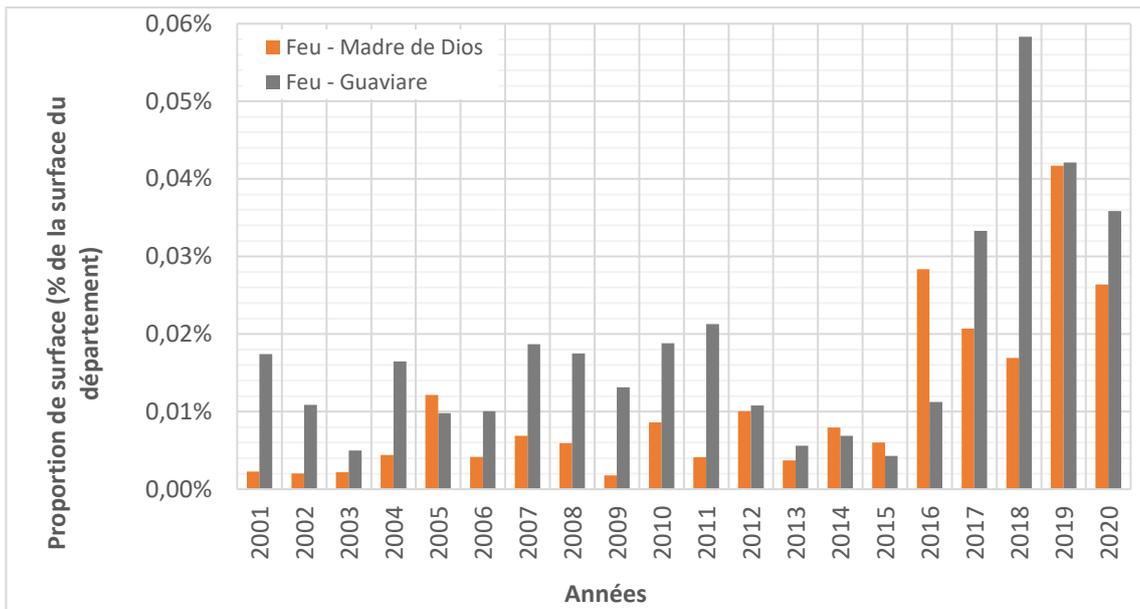


Figure 31 : Surfaces concernées par le feu selon les données de GLAD : comparaison des deux départements

## Annexe 7 : Reclassement des données de feux – Exemple à Madre de Dios

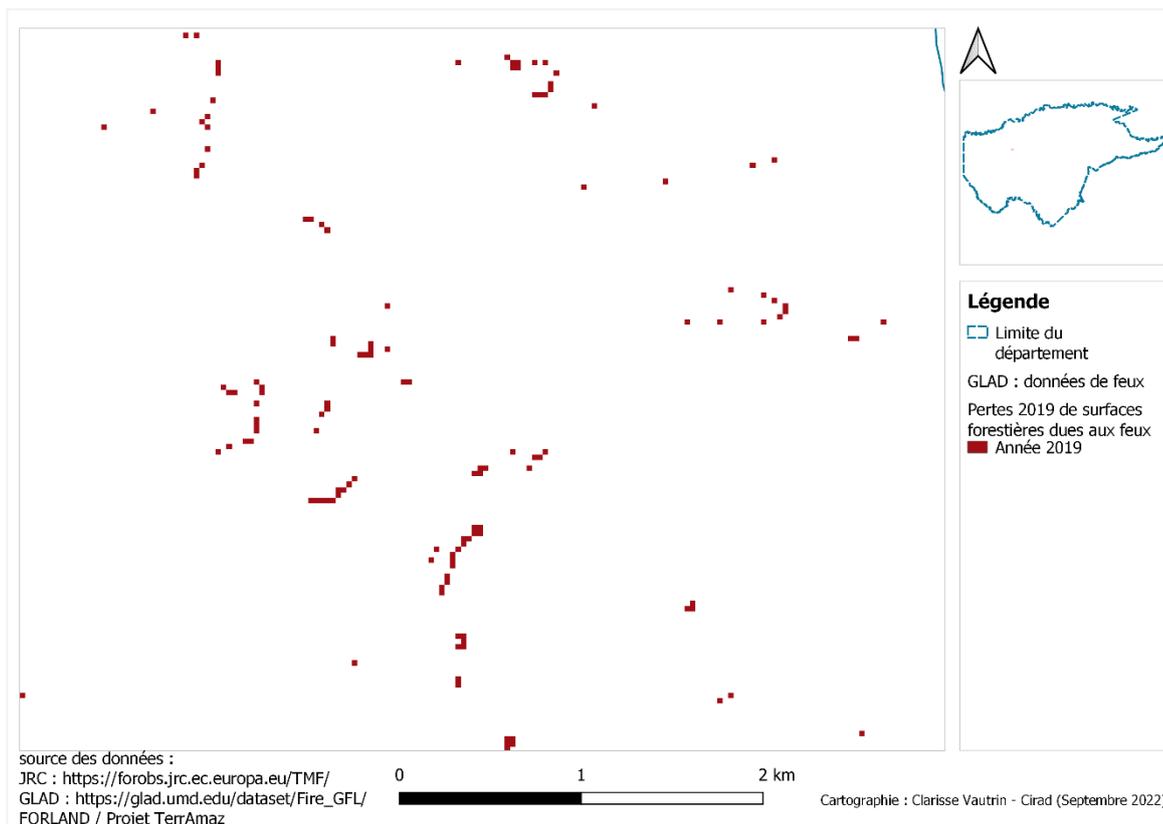


Figure 32 : Carte : détail de surfaces concernées par le feu selon les données de GLAD – Guaviare

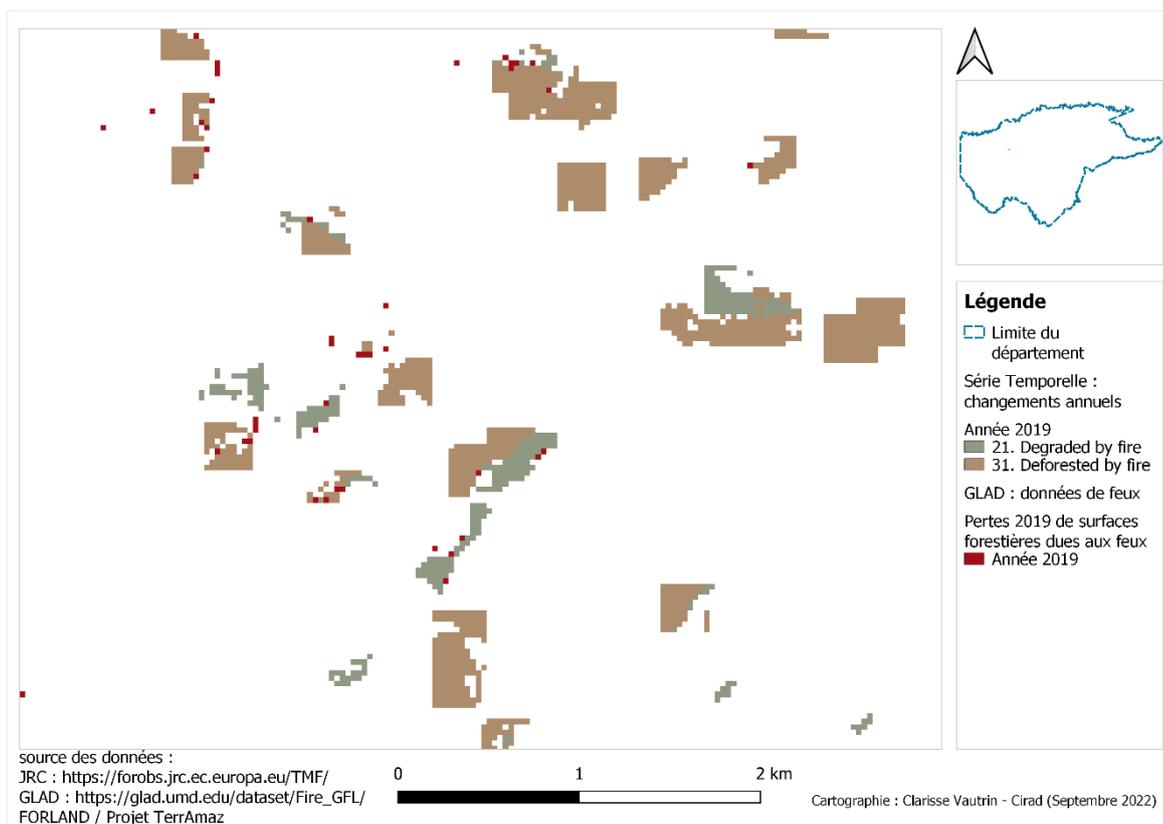


Figure 33 : Carte : détail des surfaces déforestées et dégradées concernées par le feu après reclassement – Guaviare

### Annexe 8 : Part des feux dans les processus – Madre de Dios et Guaviare

Année	Surfaces en km <sup>2</sup>				En % de la surface du département			
	Déforestation		Dégradation		Déforestation		Dégradation	
	Déforestation nette : causes autres que les incendies	Déforestation nette sur des surfaces ayant eu des incendies	Dégradation : causes autres que les incendies	Dégradation sur des surfaces ayant eu des incendies	Déforestation nette : causes autres que les incendies	Déforestation nette sur des surfaces ayant eu des incendies	Dégradation : causes autres que les incendies	Dégradation sur des surfaces ayant eu des incendies
2001	513	17,19	1 193	38,28	0,6%	0,0%	1,4%	0,0%
2002	547	19,26	1 239	32,22	0,6%	0,0%	1,4%	0,0%
2003	609	16,11	1 319	29,95	0,7%	0,0%	1,5%	0,0%
2004	567	41,73	1 395	52,37	0,7%	0,0%	1,6%	0,1%
2005	642	87,14	1 535	171,90	0,7%	0,1%	1,8%	0,2%
2006	668	48,51	1 601	50,56	0,8%	0,1%	1,8%	0,1%
2007	710	43,69	1 682	49,56	0,8%	0,1%	1,9%	0,1%
2008	774	54,33	1 784	52,71	0,9%	0,1%	2,0%	0,1%
2009	803	27,34	1 841	18,12	0,9%	0,0%	2,1%	0,0%
2010	869	83,47	1 908	102,04	1,0%	0,1%	2,2%	0,1%
2011	934	49,74	1 964	49,43	1,1%	0,1%	2,3%	0,1%
2012	1 003	118,48	2 024	94,90	1,2%	0,1%	2,3%	0,1%
2013	1 151	38,05	2 030	35,24	1,3%	0,0%	2,3%	0,0%
2014	1 262	129,26	2 041	84,34	1,4%	0,1%	2,3%	0,1%
2015	1 415	59,65	2 030	55,96	1,6%	0,1%	2,3%	0,1%
2016	1 555	249,33	2 100	223,57	1,8%	0,3%	2,4%	0,3%
2017	1 657	225,95	2 249	167,16	1,9%	0,3%	2,6%	0,2%
2018	1 765	239,18	2 410	118,76	2,0%	0,3%	2,8%	0,1%
2019	1 855	456,43	2 520	266,45	2,1%	0,5%	2,9%	0,3%
2020	1 970	486,47	2 574	194,40	2,3%	0,6%	3,0%	0,2%

Tableau 10 : Statistiques de la déforestation nette et de la dégradation par causes : causes diverses et présence de feux (après reclassement) – Madre de Dios

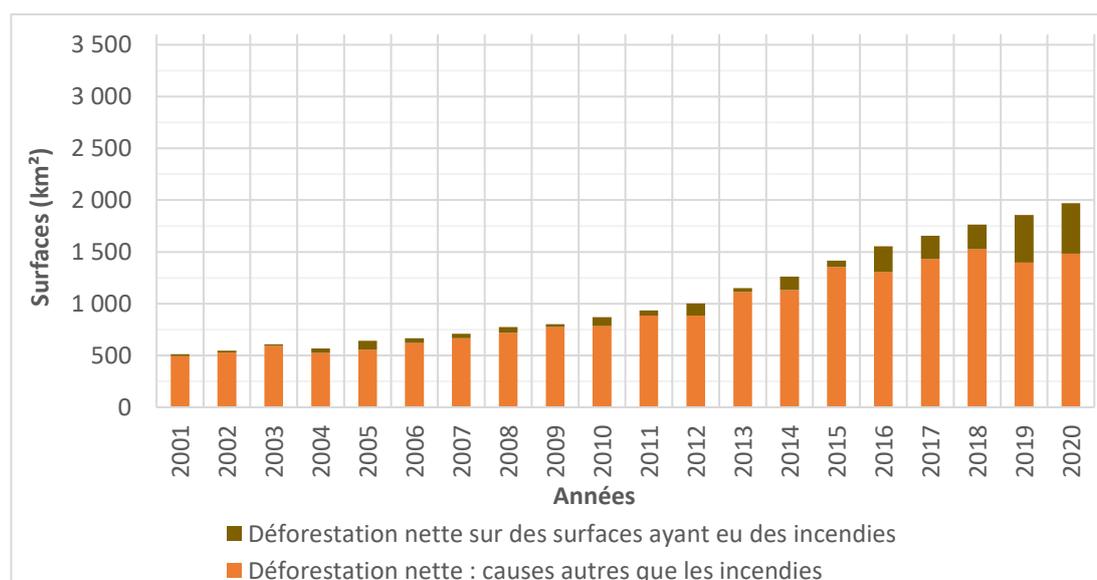


Figure 34 : Évolution des surfaces de déforestation nette à usage terrestre : causes diverses et présence de feux – Madre de Dios

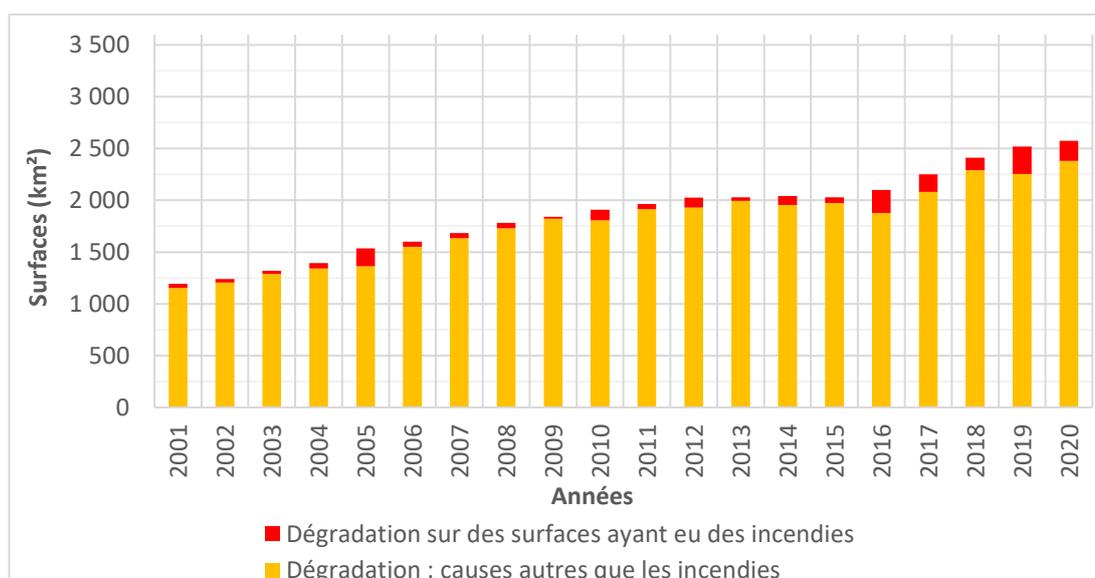


Figure 35 : Évolution des surfaces dégradées : causes diverses et présence de feux – Madre de Dios

Année	Surfaces en km <sup>2</sup>				En % de la surface du département			
	Déforestation		Dégradation		Déforestation		Dégradation	
	Déforestation nette : causes autres que les incendies	Déforestation nette sur des surfaces ayant eu des incendies	Dégradation : causes autres que les incendies	Dégradation sur des surfaces ayant eu des incendies	Déforestation nette : causes autres que les incendies	Déforestation nette sur des surfaces ayant eu des incendies	Dégradation : causes autres que les incendies	Dégradation sur des surfaces ayant eu des incendies
2001	1 089	37,78	1 432	47,50	1,9%	0,1%	2,6%	0,1%
2002	1 107	40,39	1 521	40,62	2,0%	0,1%	2,7%	0,1%
2003	1 187	32,25	1 600	37,18	2,1%	0,1%	2,9%	0,1%
2004	1 261	100,19	1 640	63,94	2,3%	0,2%	2,9%	0,1%
2005	1 181	185,32	1 536	193,66	2,1%	0,3%	2,7%	0,3%
2006	1 370	107,33	1 715	55,93	2,5%	0,2%	3,1%	0,1%
2007	1 477	96,88	1 746	52,99	2,6%	0,2%	3,1%	0,1%
2008	1 566	118,18	1 830	55,72	2,8%	0,2%	3,3%	0,1%
2009	1 670	58,83	1 910	18,98	3,0%	0,1%	3,4%	0,0%
2010	1 636	173,84	1 852	104,61	2,9%	0,3%	3,3%	0,2%
2011	1 834	103,17	1 916	49,47	3,3%	0,2%	3,4%	0,1%
2012	1 816	243,25	1 890	92,96	3,2%	0,4%	3,4%	0,2%
2013	2 077	71,01	1 948	34,42	3,7%	0,1%	3,5%	0,1%
2014	2 091	238,65	1 868	80,54	3,7%	0,4%	3,3%	0,1%
2015	2 339	102,92	1 887	53,48	4,2%	0,2%	3,4%	0,1%
2016	2 193	418,72	1 729	205,98	3,9%	0,7%	3,1%	0,4%
2017	2 503	395,09	1 837	147,52	4,5%	0,7%	3,3%	0,3%
2018	2 769	434,04	2 073	107,42	5,0%	0,8%	3,7%	0,2%
2019	2 486	811,15	2 062	243,82	4,4%	1,5%	3,7%	0,4%
2020	2 631	862,65	2 243	183,19	4,7%	1,5%	4,0%	0,3%

Tableau 11 : Statistiques de la déforestation nette et de la dégradation par causes : causes diverses et présence de feux (après reclassement) – Guaviare

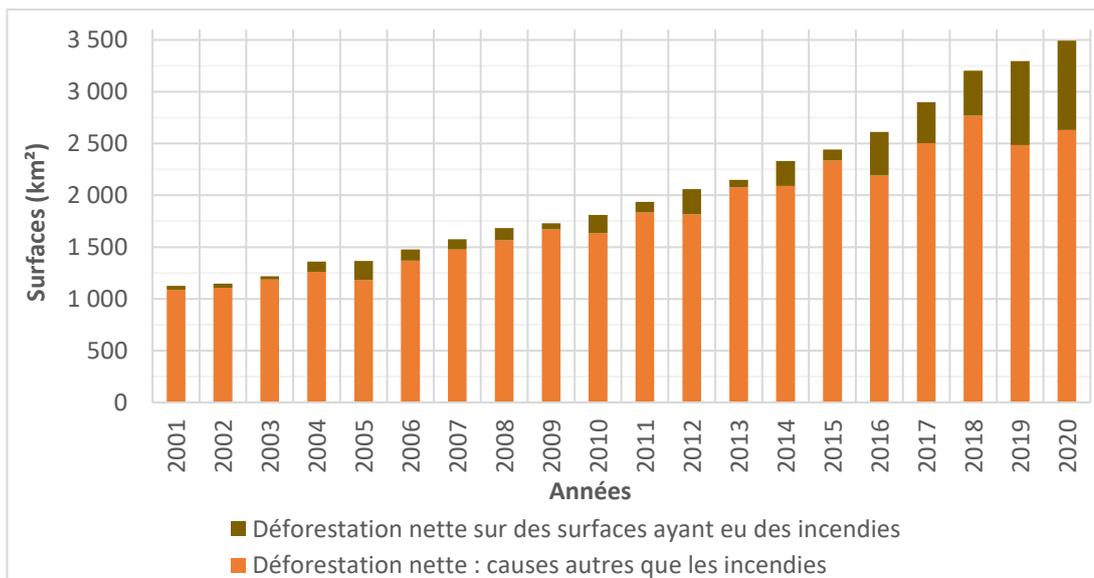


Figure 36 : Évolution des surfaces de déforestation nette : causes diverses et présence de feux – Guaviare

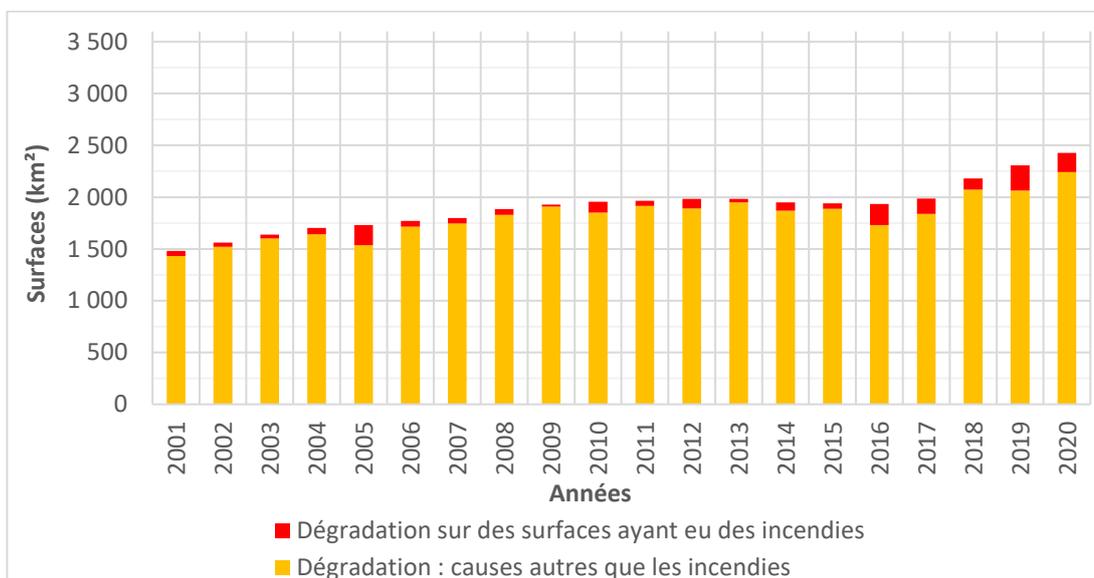


Figure 37 : Évolution des surfaces dégradées : causes diverses et présence de feux – Guaviare

## Annexe 9 : Cadastre minier – Madre de Dios

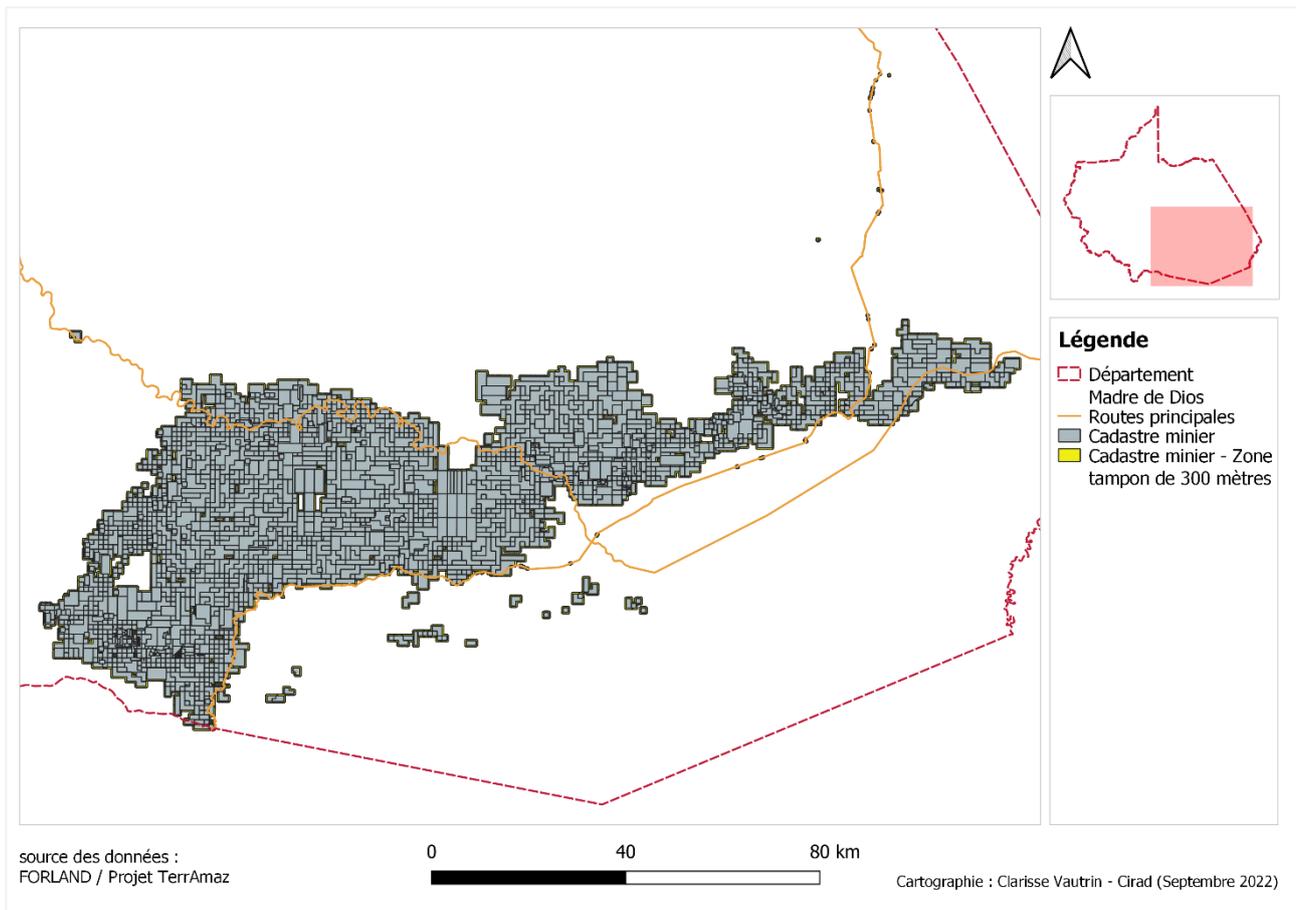


Figure 38 : Carte du cadastre minier – Madre de Dios

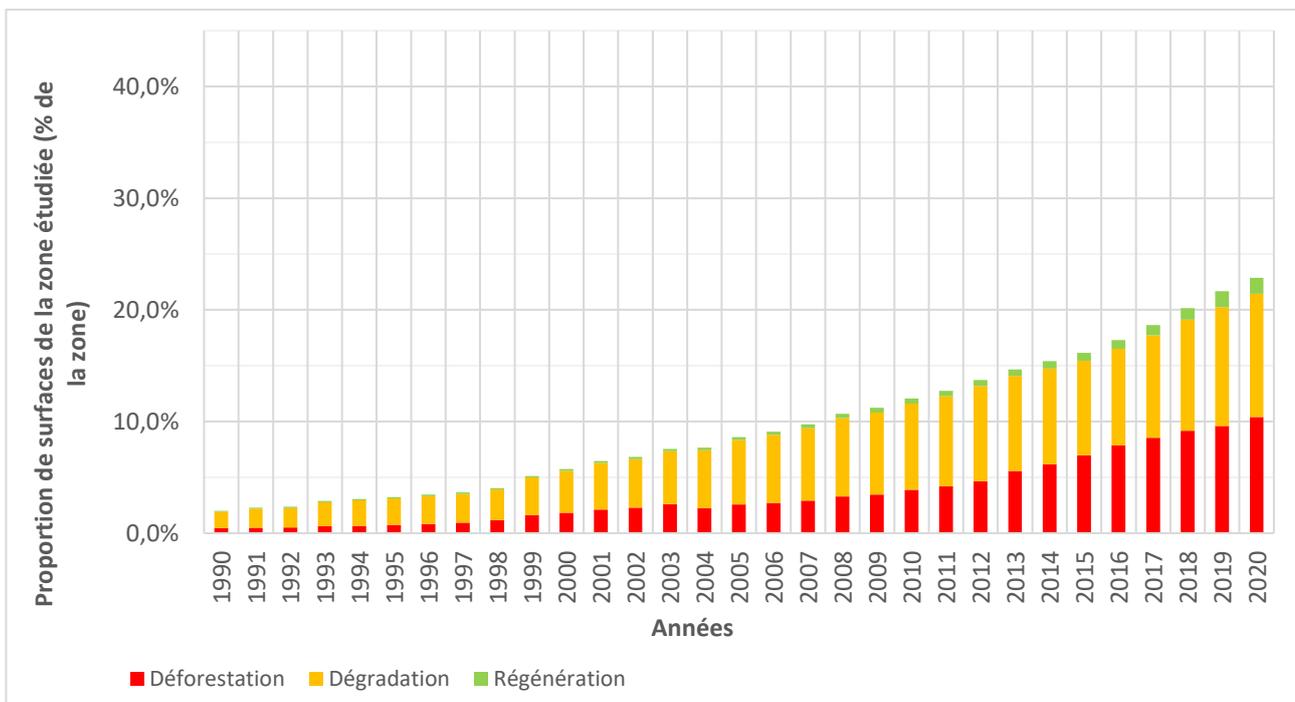
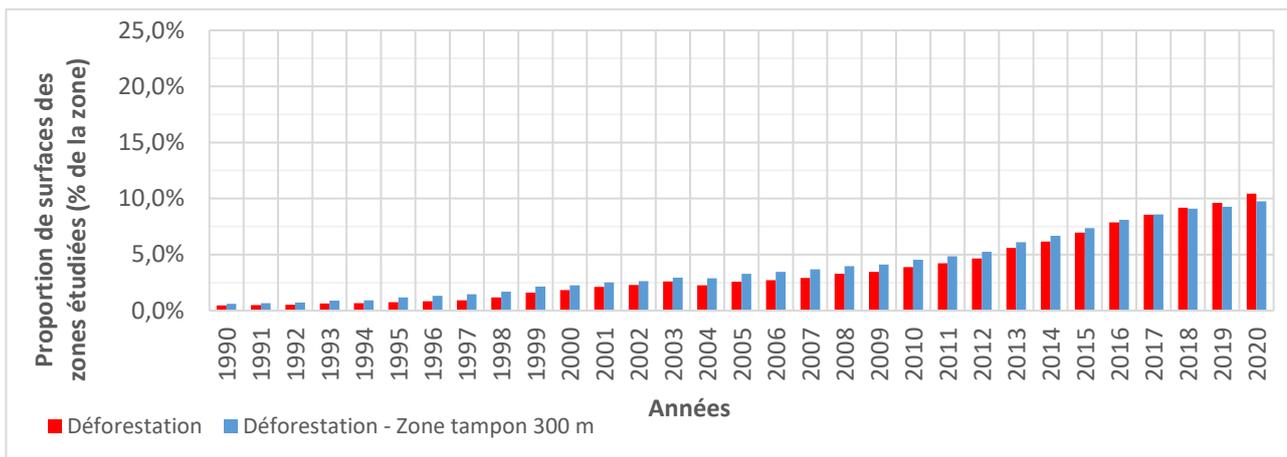
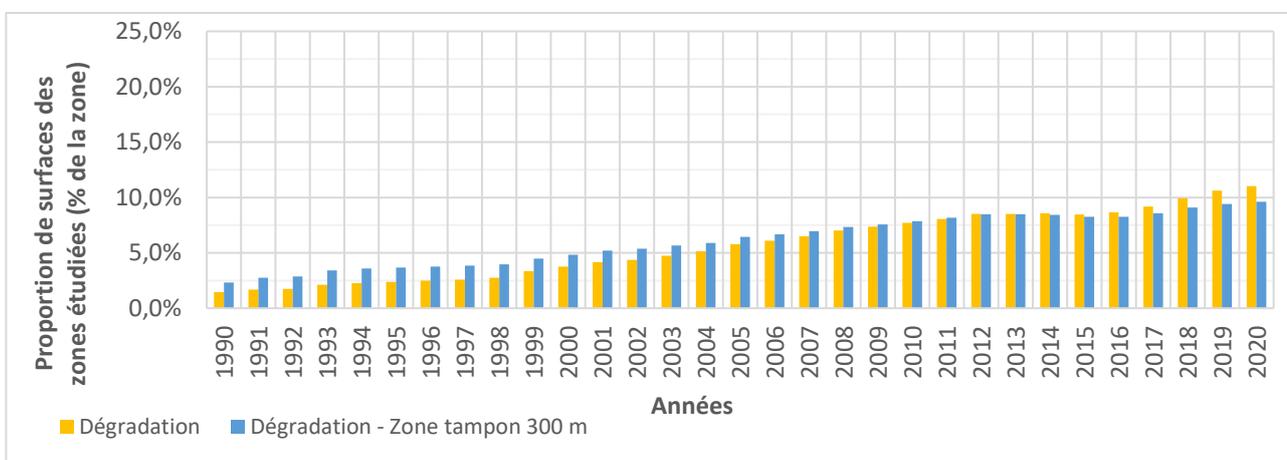


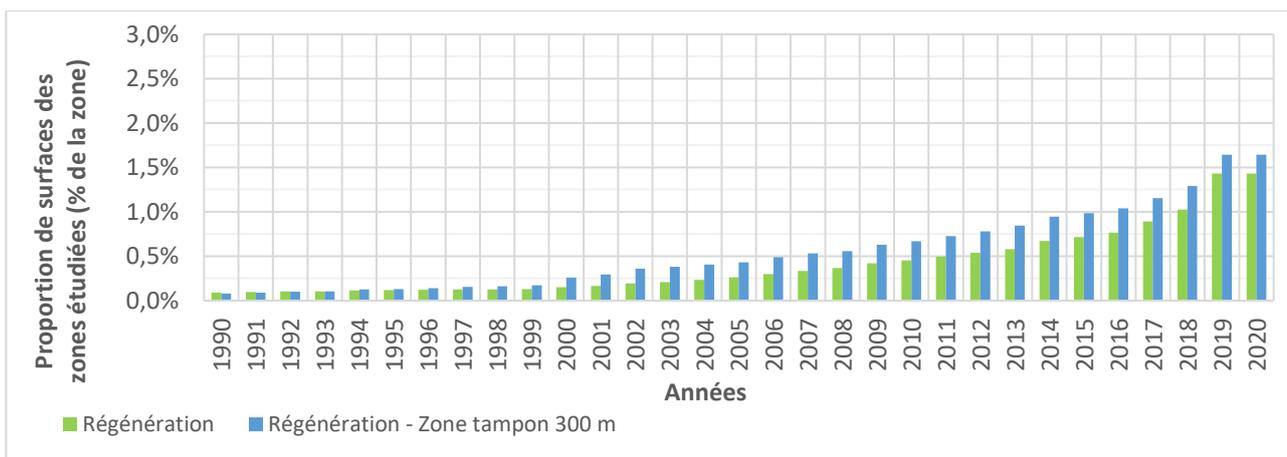
Figure 39 : Évolution des trois processus dans la zone du cadastre minier – Madre de Dios



**A**



**B**



**C**

Figure 40 : Évolution des trois processus dans la zone du cadastre minier et dans la zone tampon de 300 mètres à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C)

**Annexe 10 : Communautés indigènes – Madre de Dios**

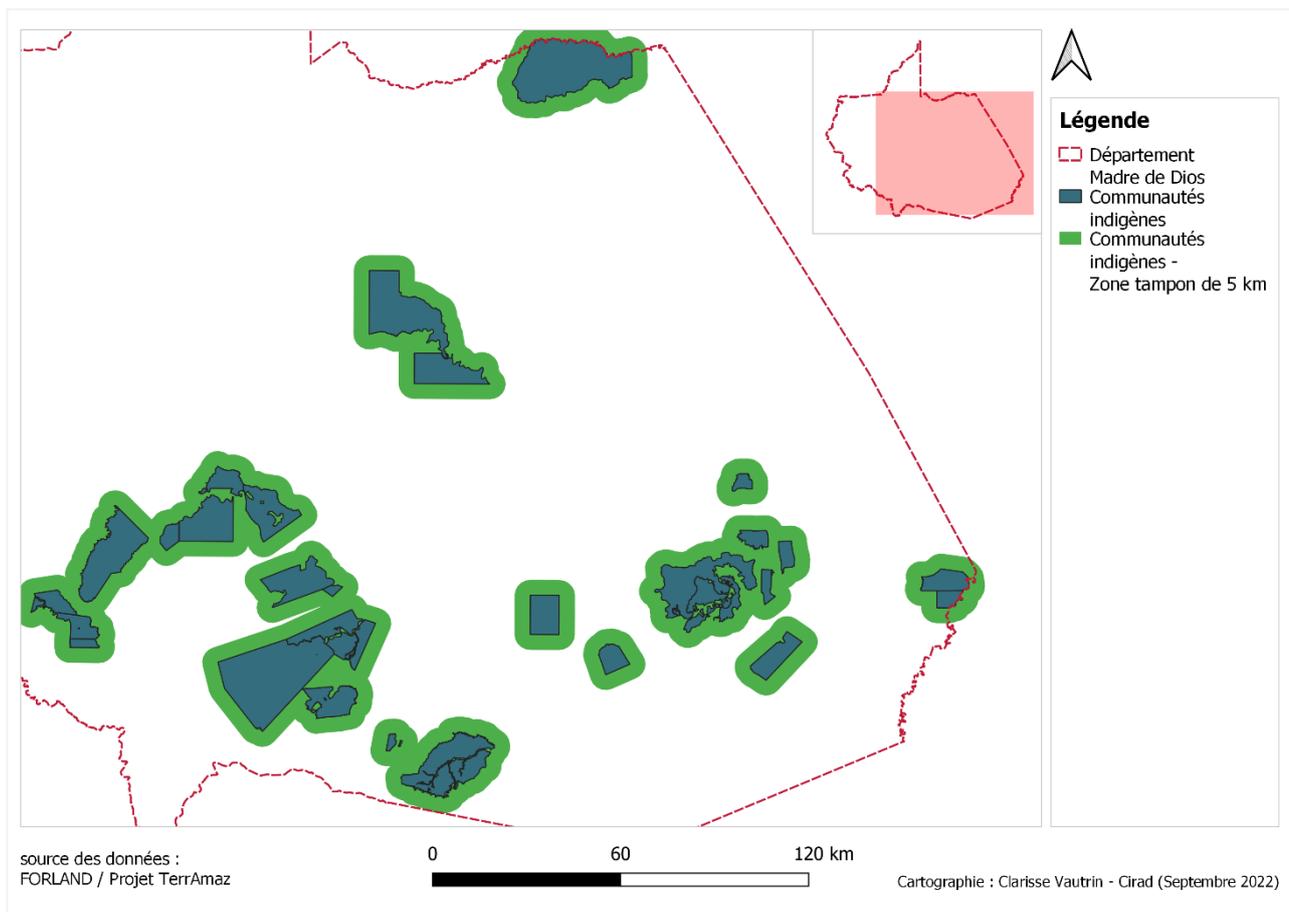


Figure 41 : Carte des communautés indigènes – Madre de Dios

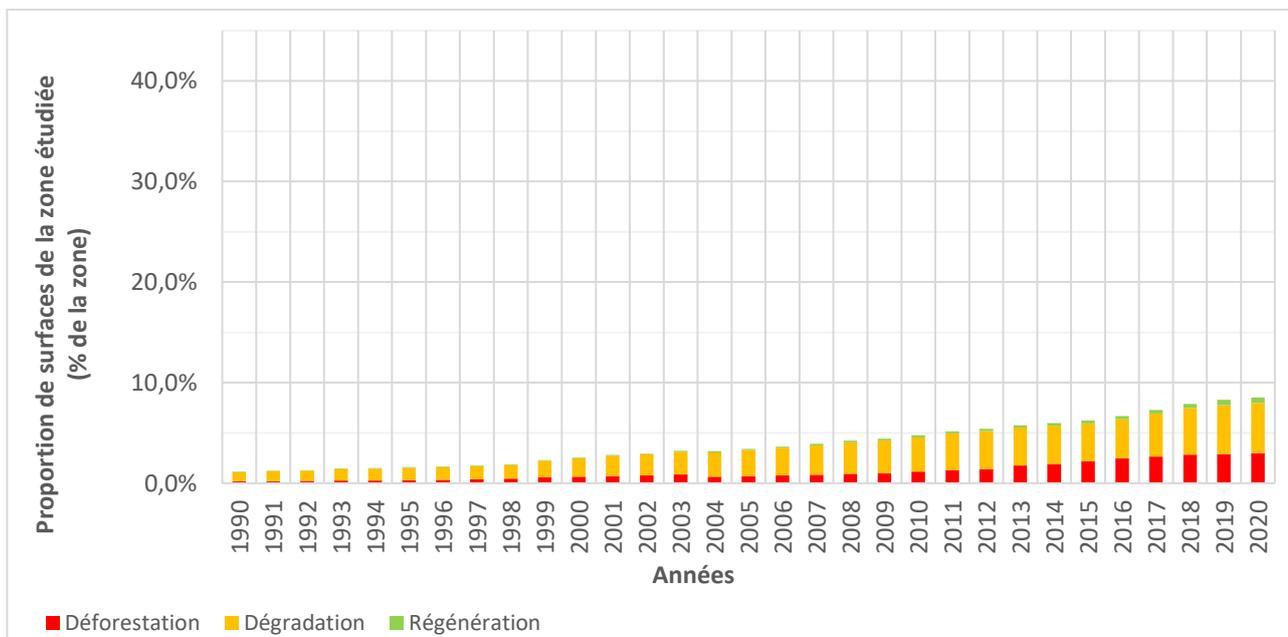
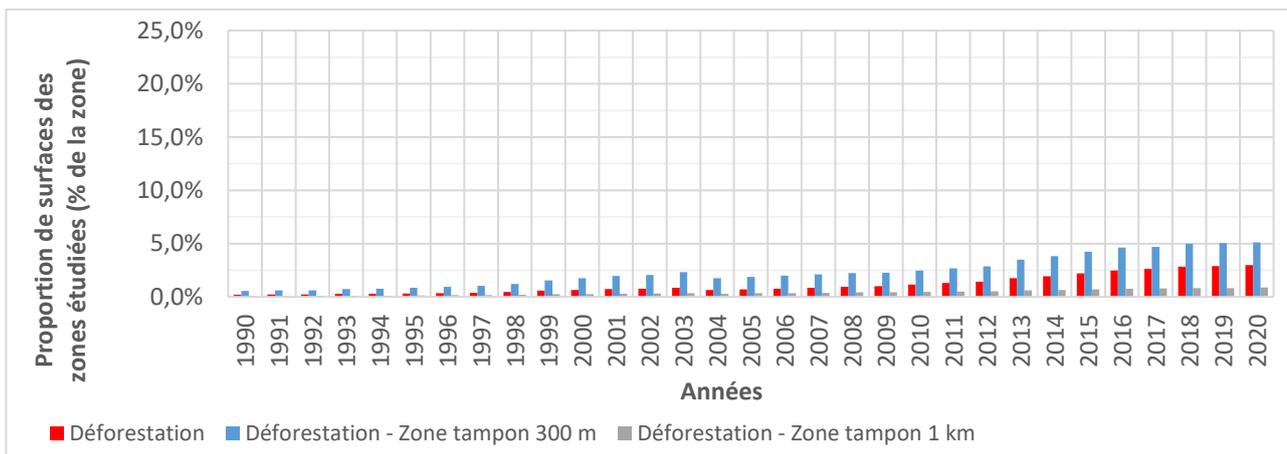
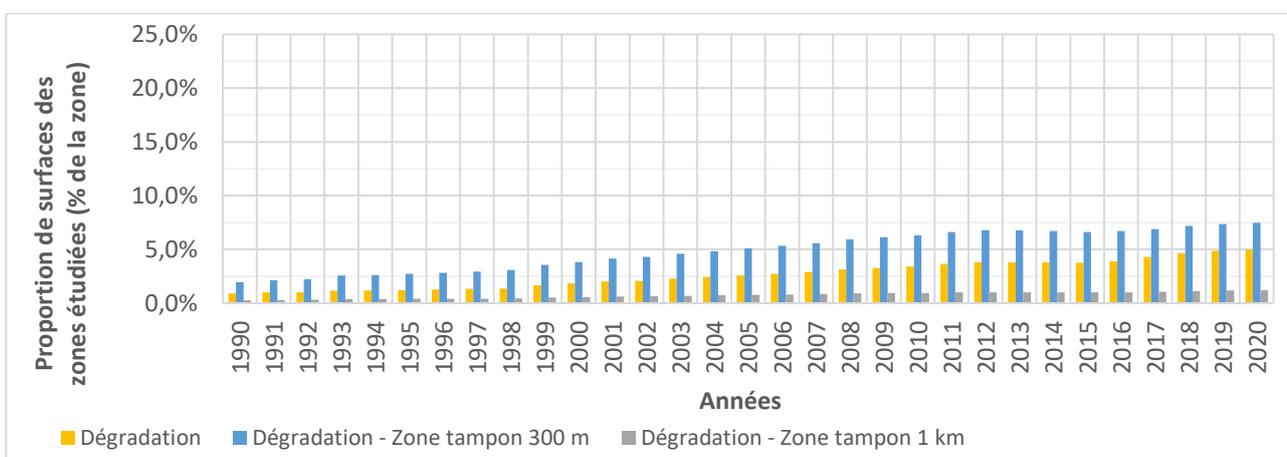


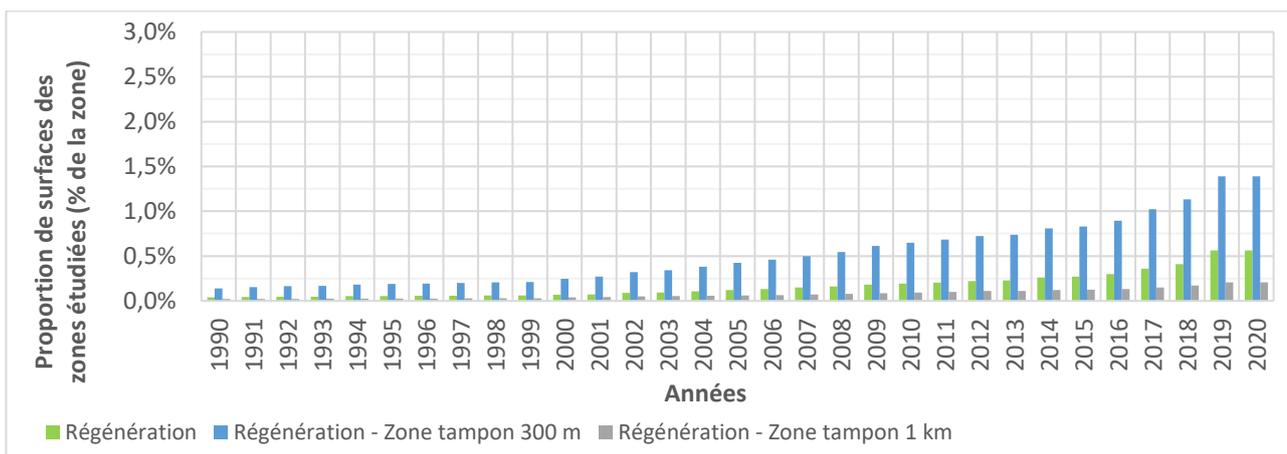
Figure 42 : Évolution des trois processus dans les zones de communautés indigènes – Madre de Dios



**A**



**B**



**C**

Figure 43 : Évolution de la régénération dans les communautés natives et dans les zones tampon de 300 mètres et de 1 km à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C)

## Annexe 11 : Concessions de conservation – Madre de Dios

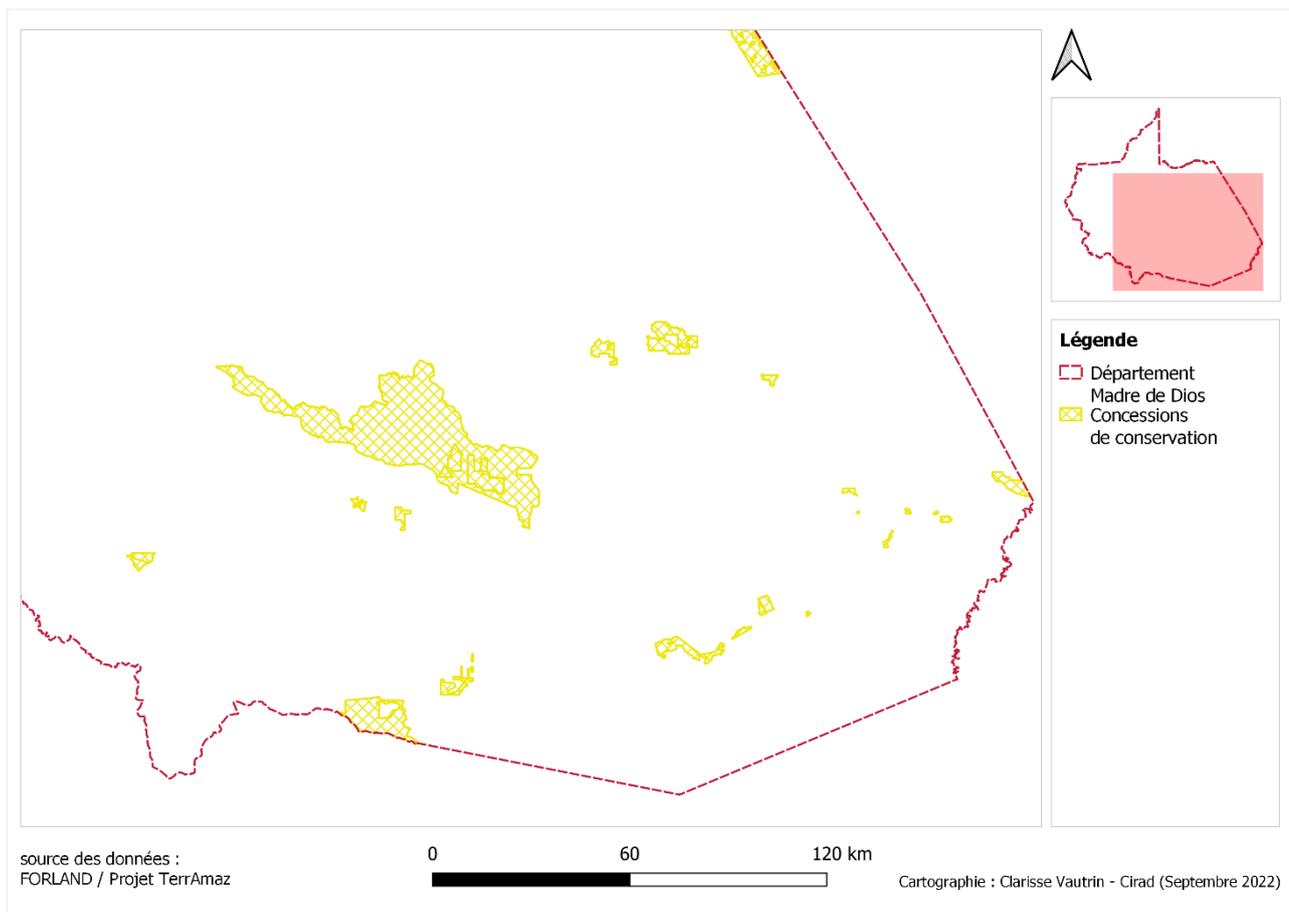


Figure 44 : Carte des concessions de conservation – Madre de Dios

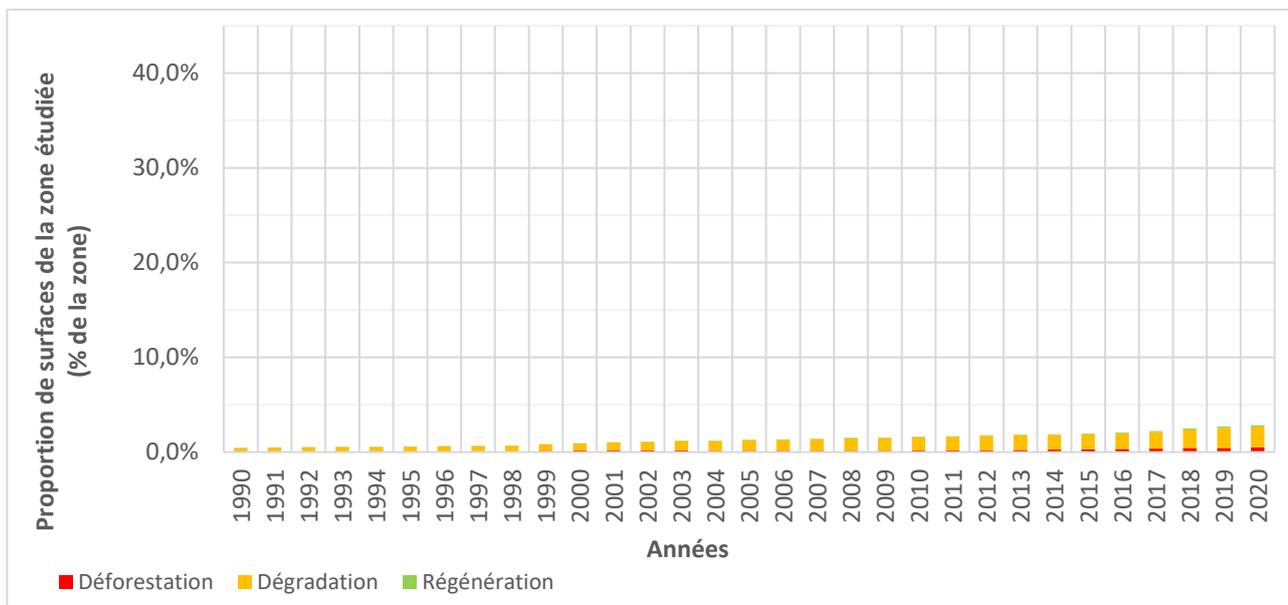


Figure 45 : Évolution des trois processus dans les concessions de conservation – Madre de Dios

**Annexe 12 : Concessions d'écotourisme – Madre de Dios**

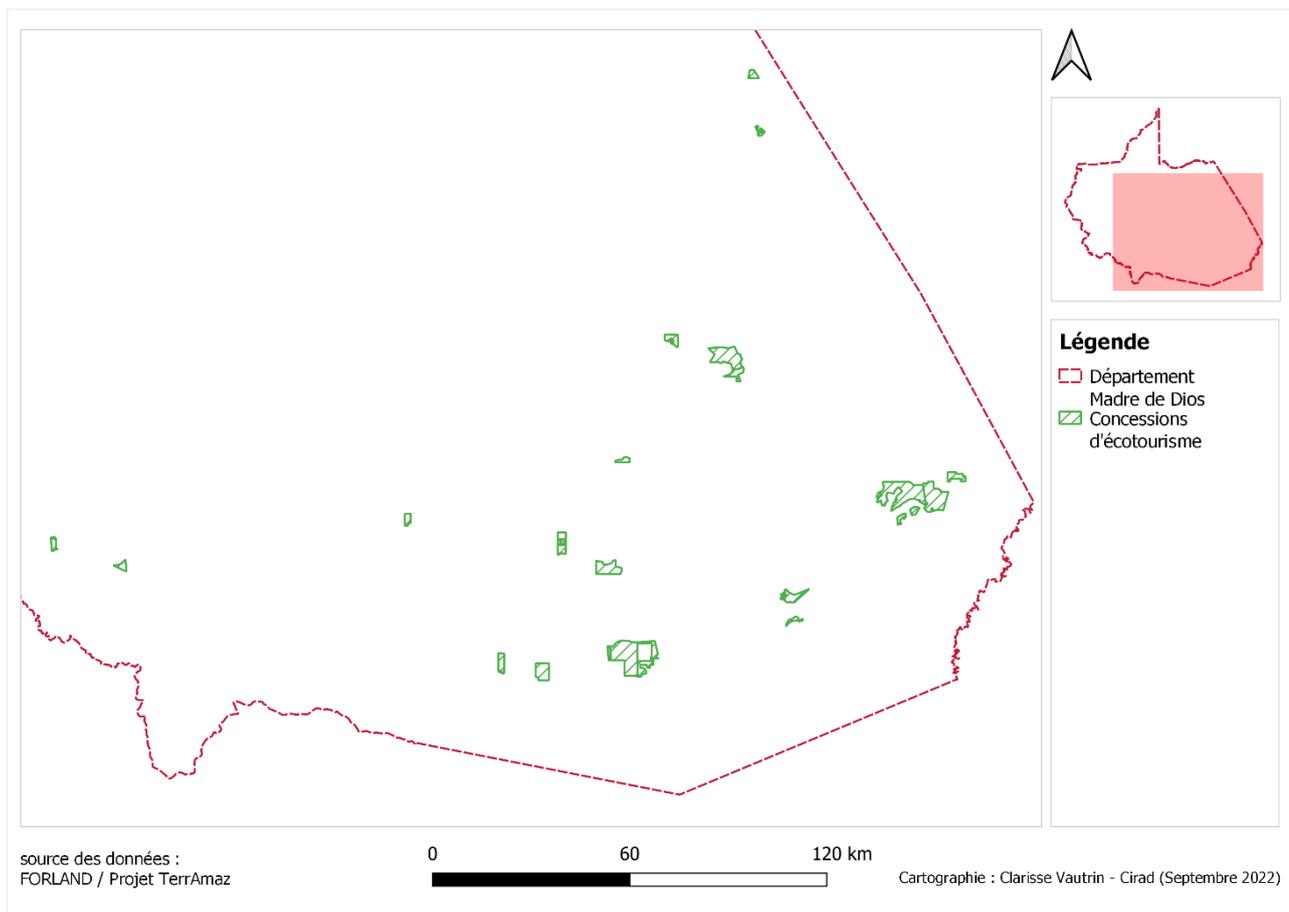


Figure 46 : Carte des concessions d'écotourisme – Madre de Dios

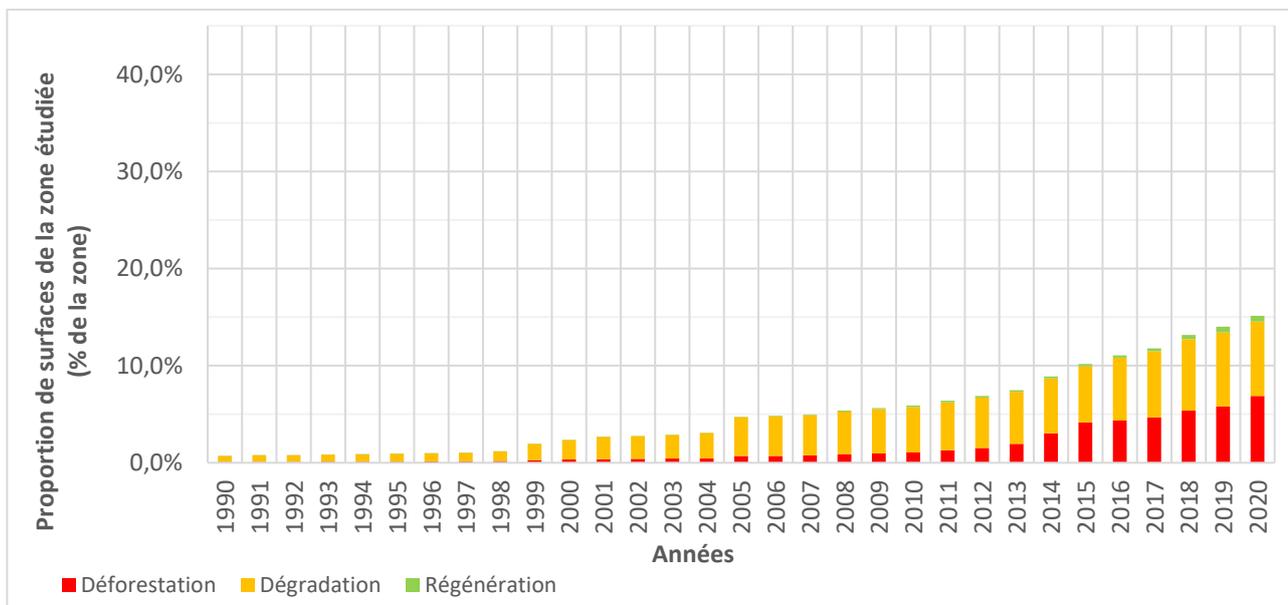


Figure 47 : Évolution des trois processus dans des concessions d'écotourisme – Madre de Dios

**Annexe 13 : Concessions de reboisement – Madre de Dios**

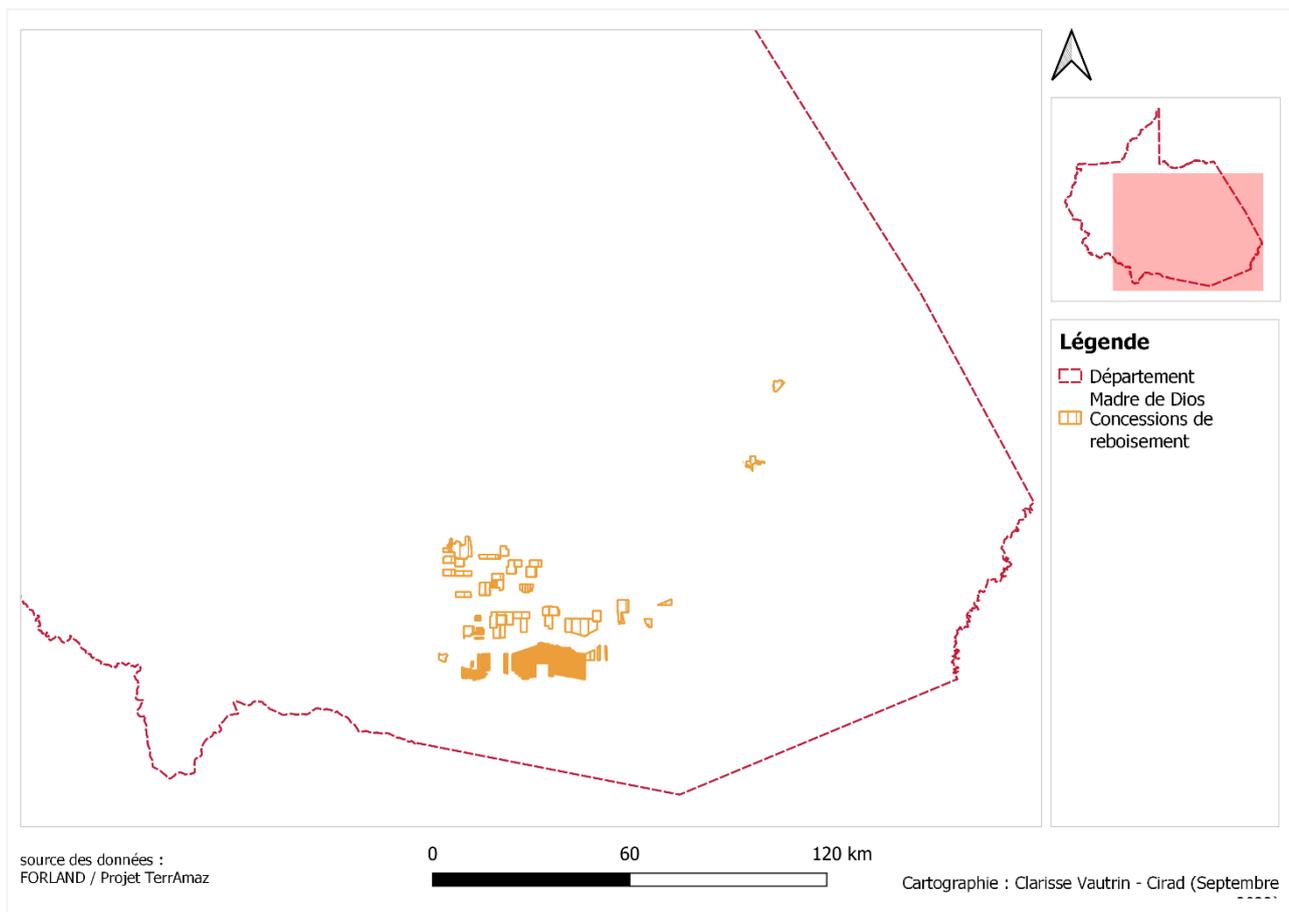


Figure 48 : Carte des concessions de reboisement – Madre de Dios

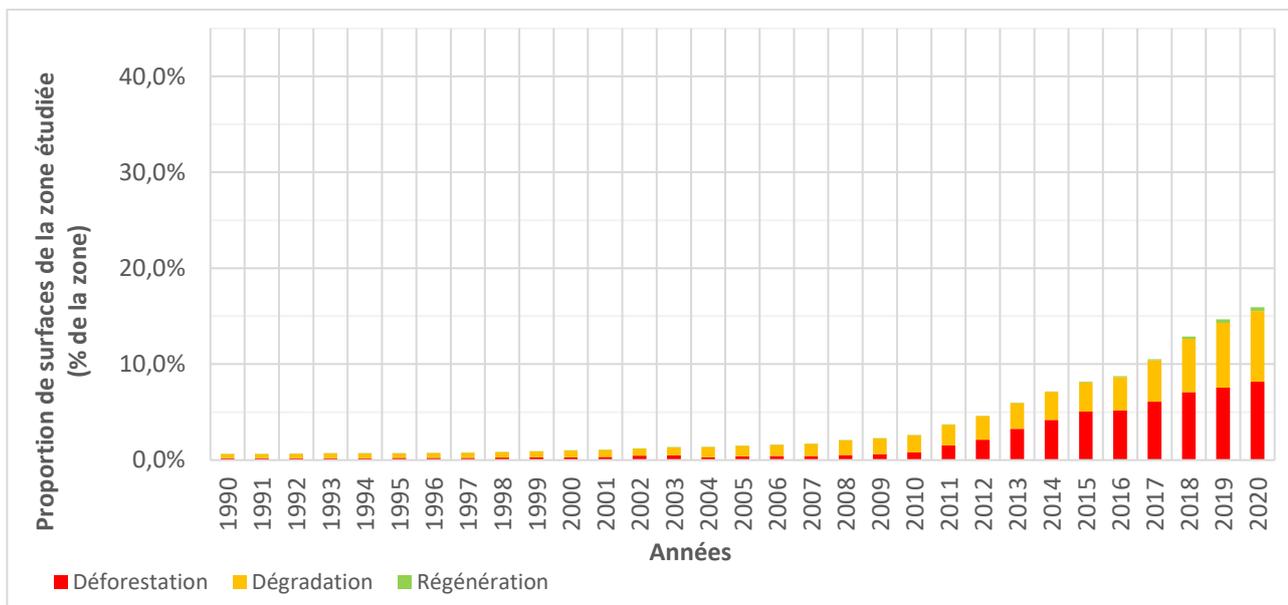


Figure 49 : Évolution des trois processus dans les concessions de reboisement – Madre de Dios

## Annexe 14 : Concessions forestières d'exploitation de bois – Madre de Dios

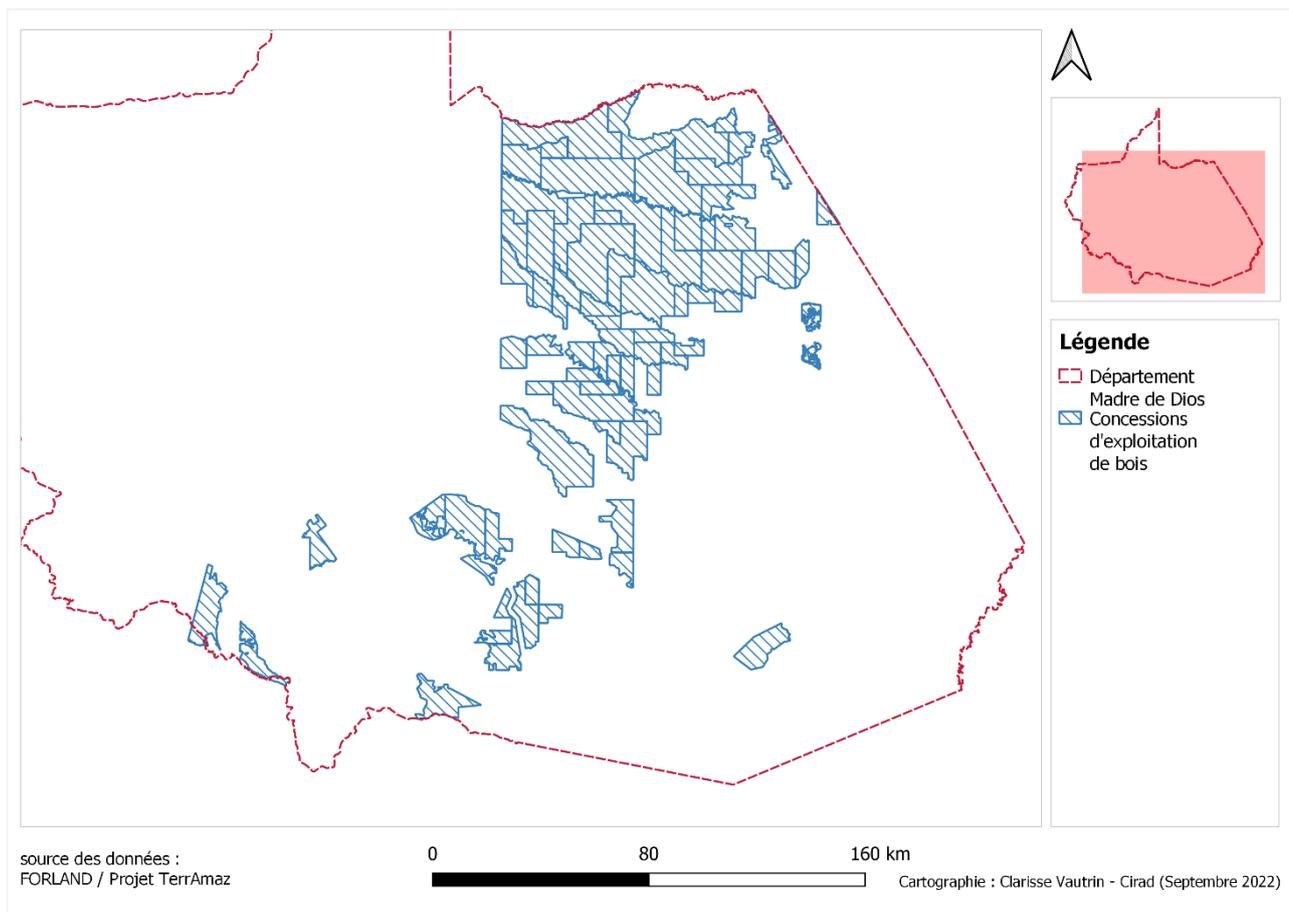


Figure 50 : Carte des concessions forestières d'exploitation de bois – Madre de Dios

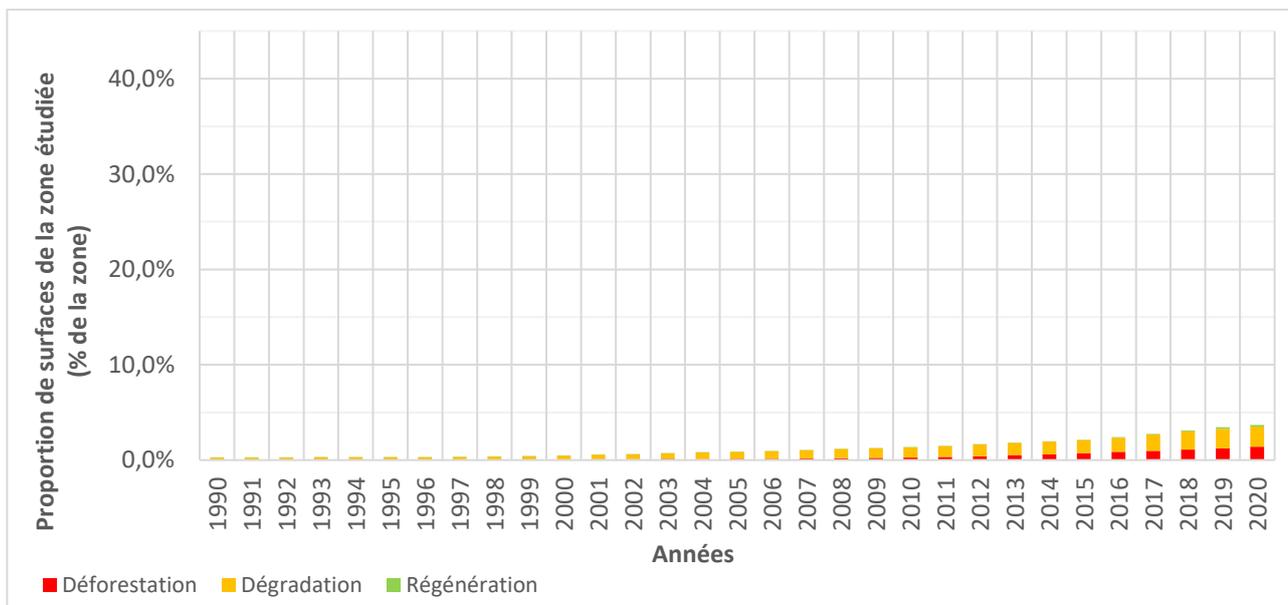


Figure 51 : Évolution des trois processus dans les concessions forestières d'exploitation de bois – Madre de Dios

**Annexe 15 : Concessions d'exploitation de PFNL – Madre de Dios**

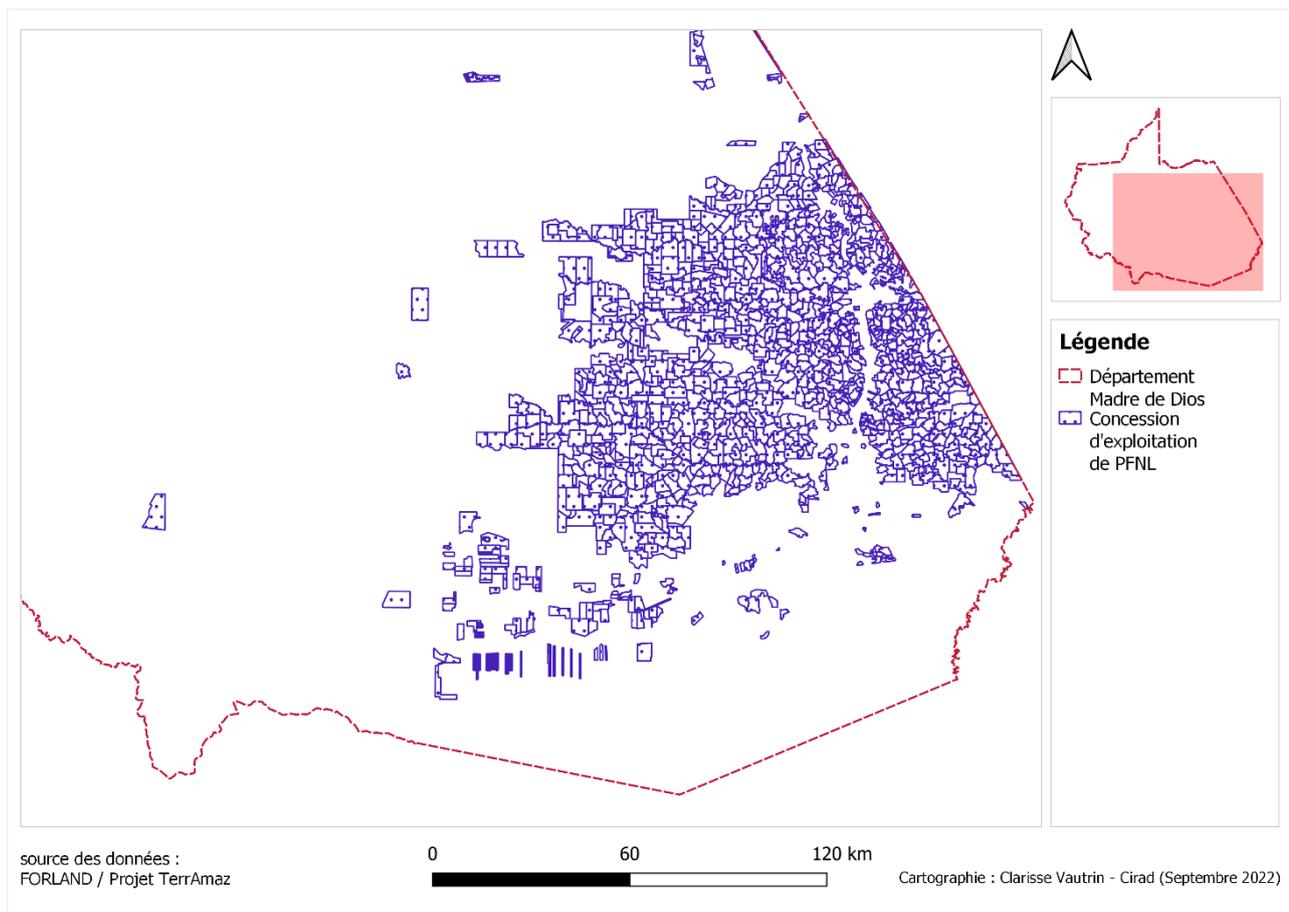


Figure 52 : Carte des concessions d'exploitation de PFNL – Madre de Dios

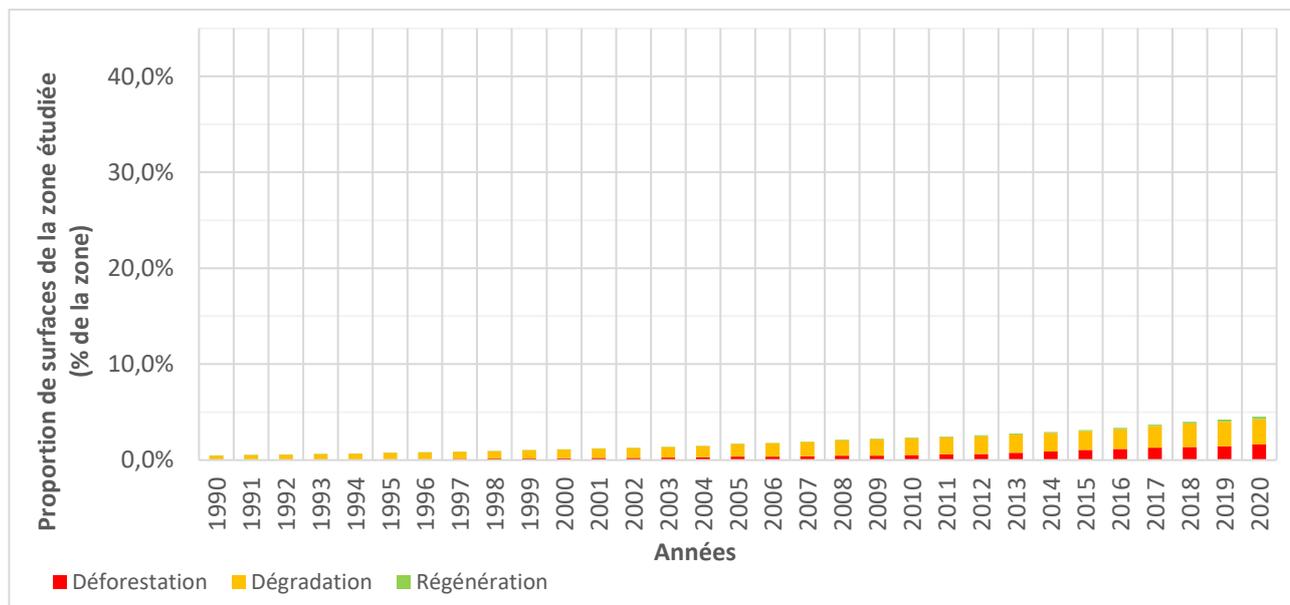


Figure 53 : Évolution des trois processus dans les concessions d'exploitation de PFNL – Madre de Dios

**Annexe 16 : Permis d'exploitation forestière – Madre de Dios**

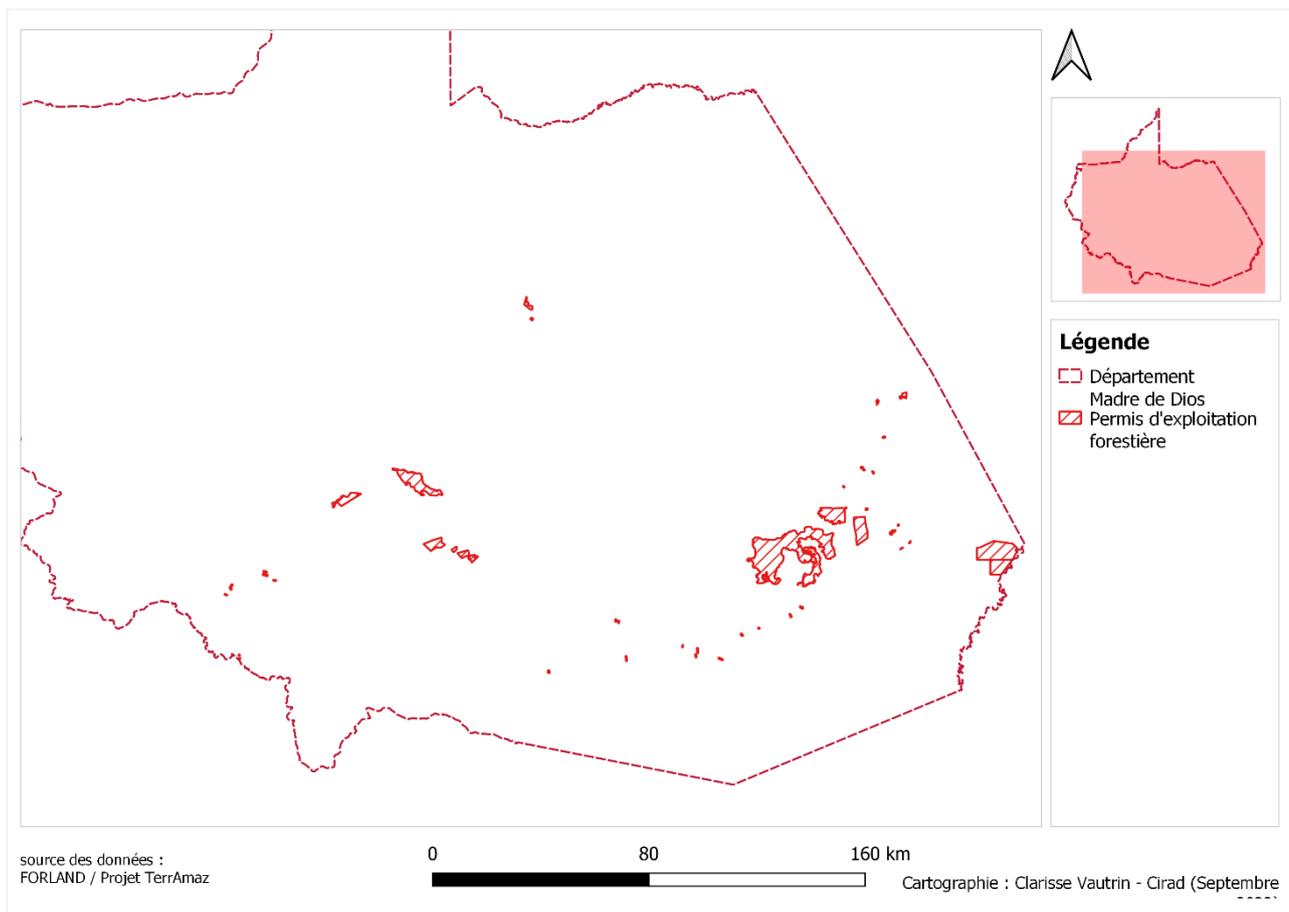


Figure 54 : Carte des permis d'exploitation forestière – Madre de Dios

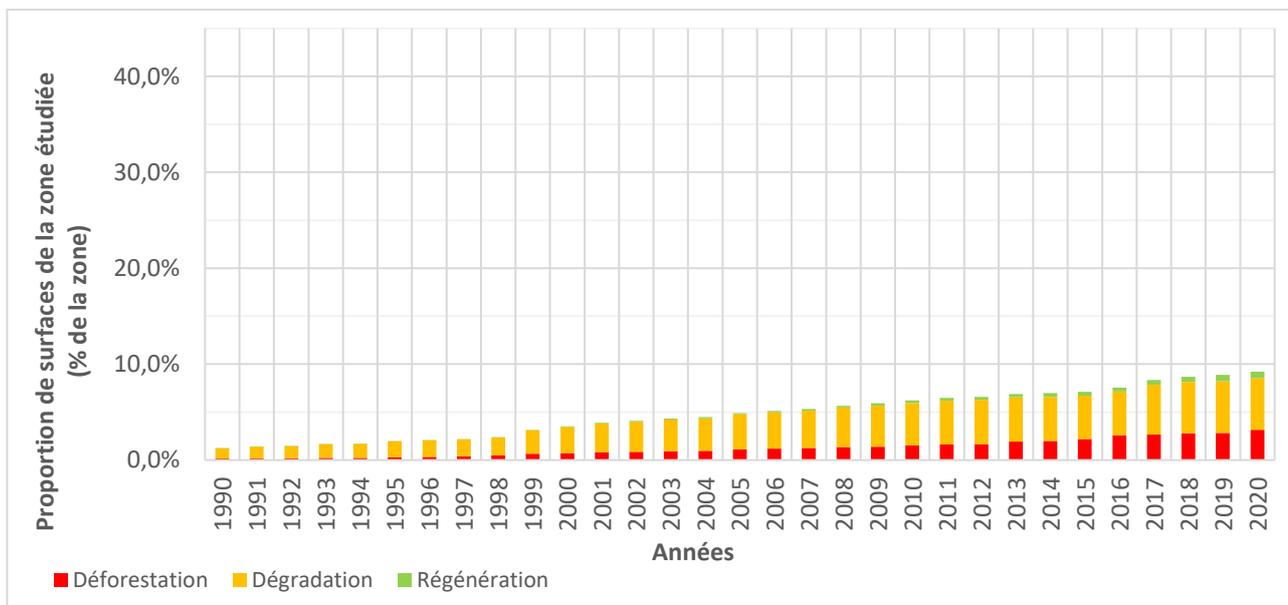


Figure 55 : Évolution des trois processus dans la zone des permis d'exploitation forestière – Madre de Dios

### Annexe 17 : Zones agricoles – Madre de Dios

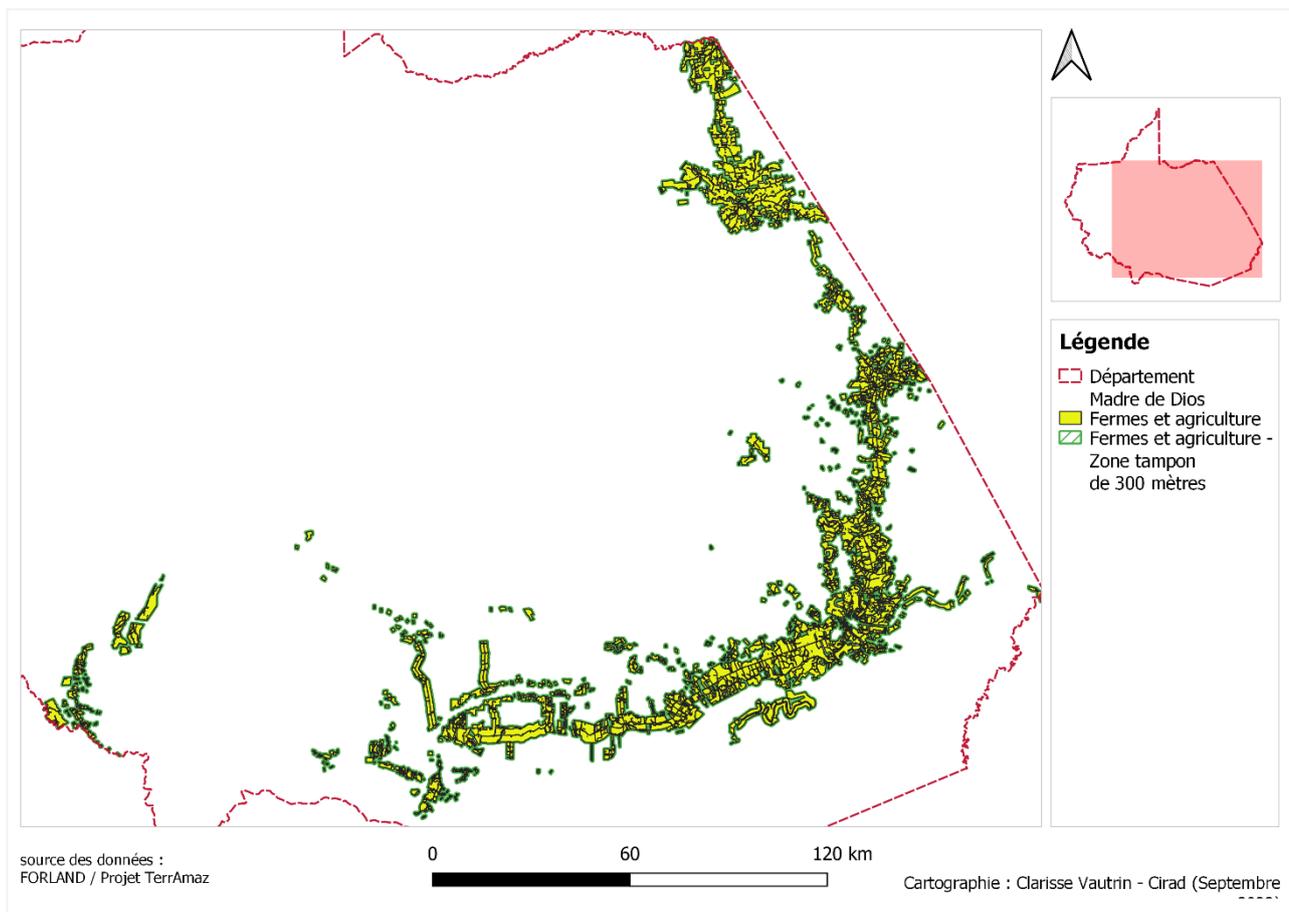


Figure 56 : Carte des zones agricoles – Madre de Dios

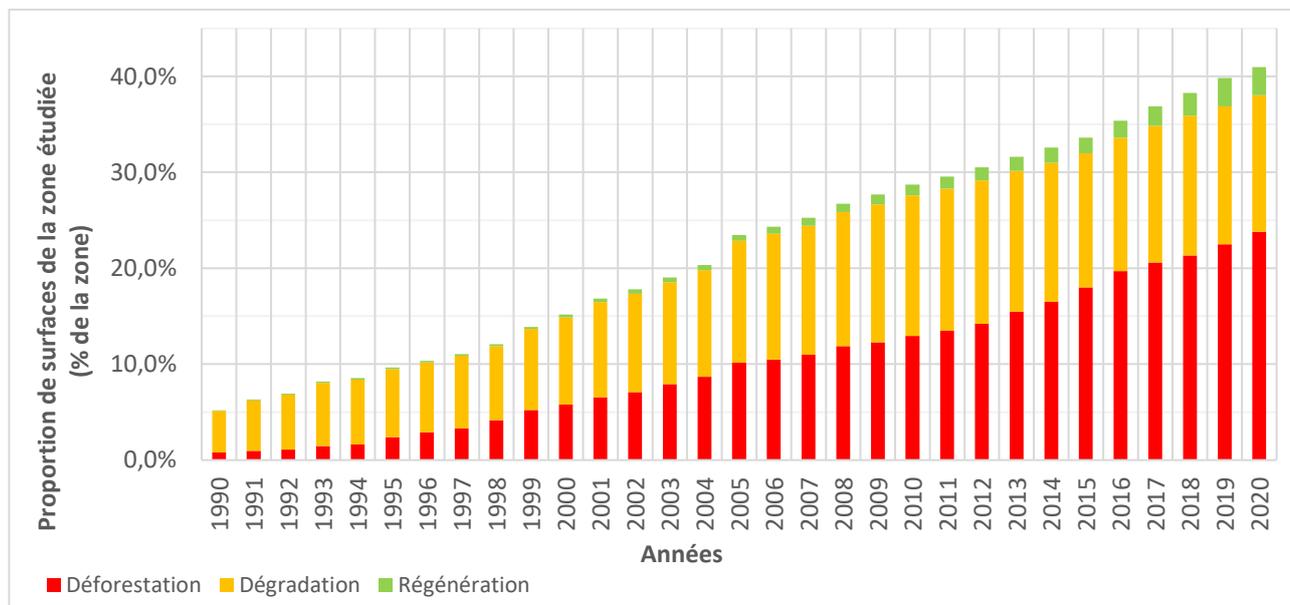
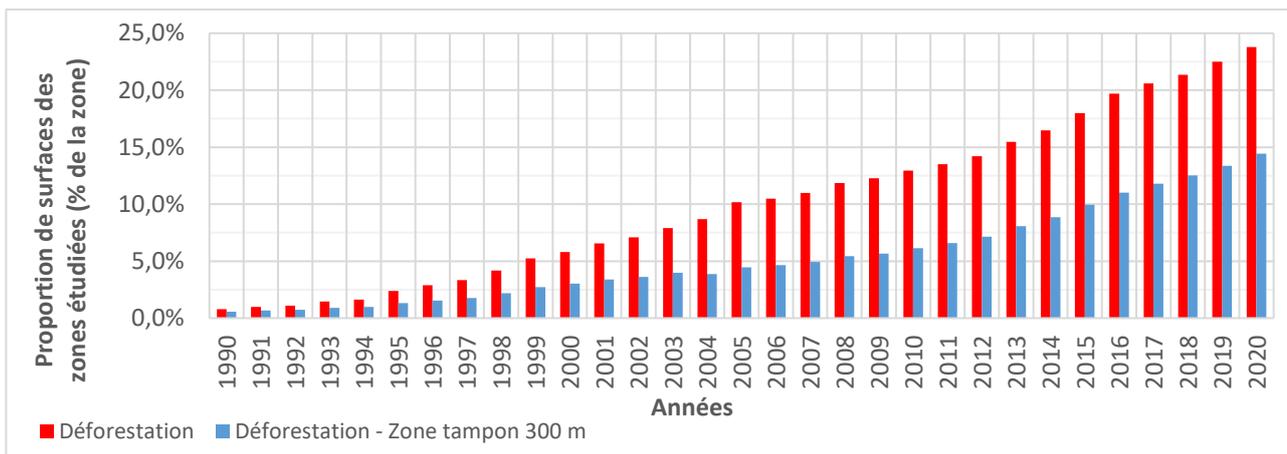
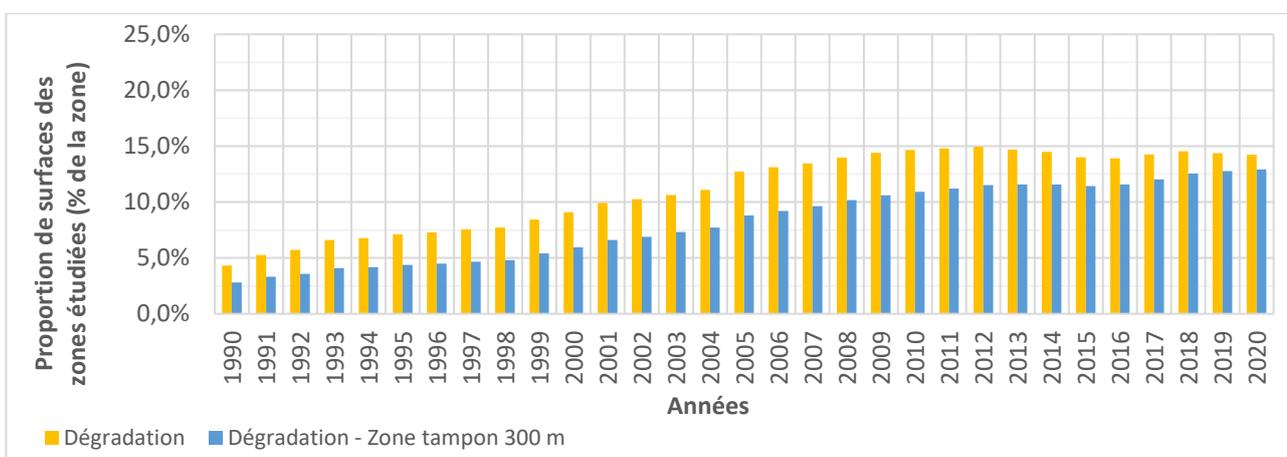


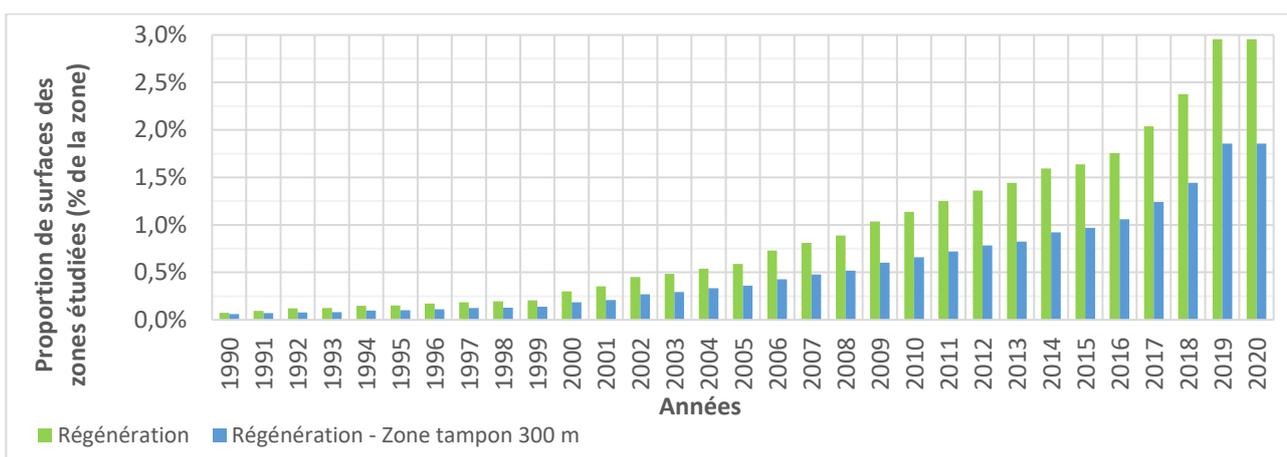
Figure 57 : Évolution des trois processus dans les zones agricoles – Madre de Dios



A



B



C

Figure 58 : Évolution de la régénération dans les zones agricole et la zone tampon de 300 mètres à Madre de : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C)

## Annexe 18 : Réseau routier principal – Madre de Dios

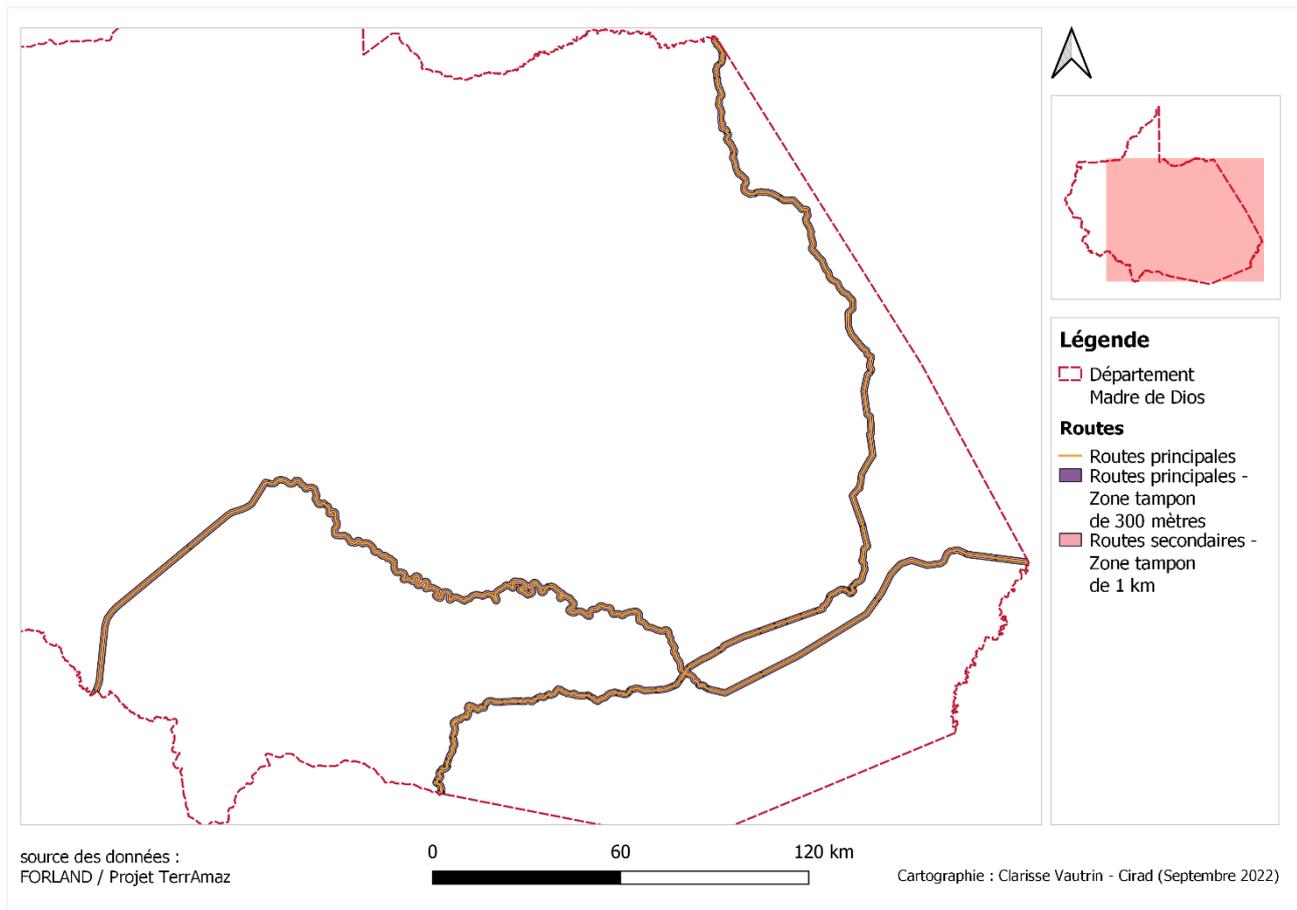


Figure 59 : Carte du réseau routier principal – Madre de Dios

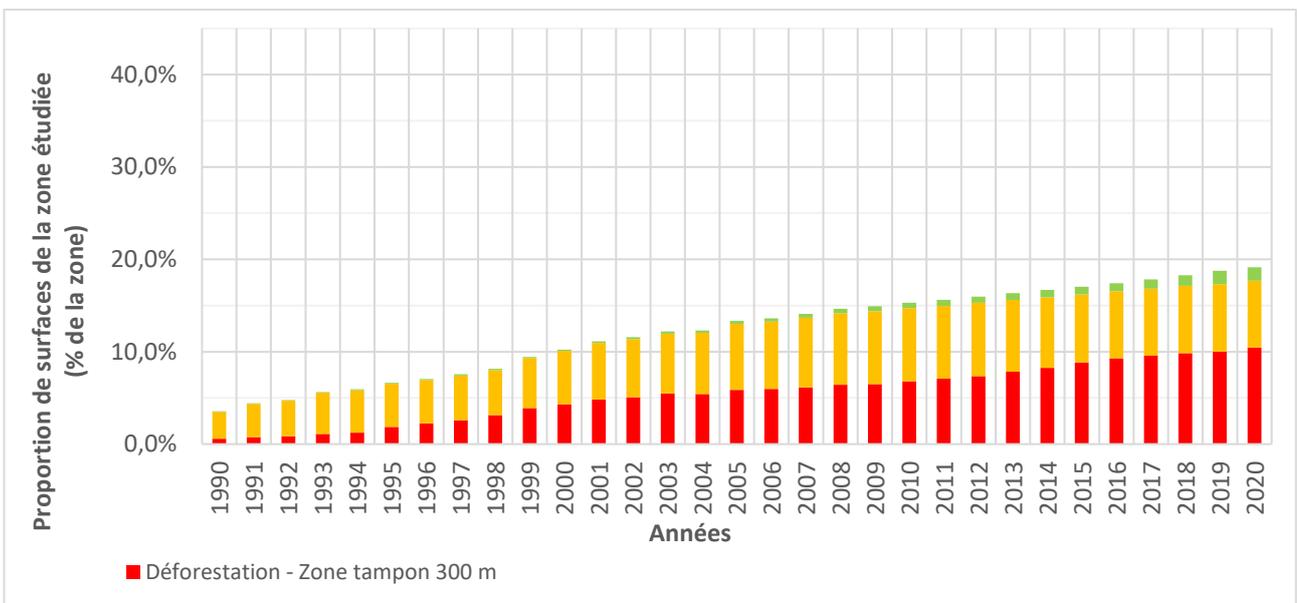
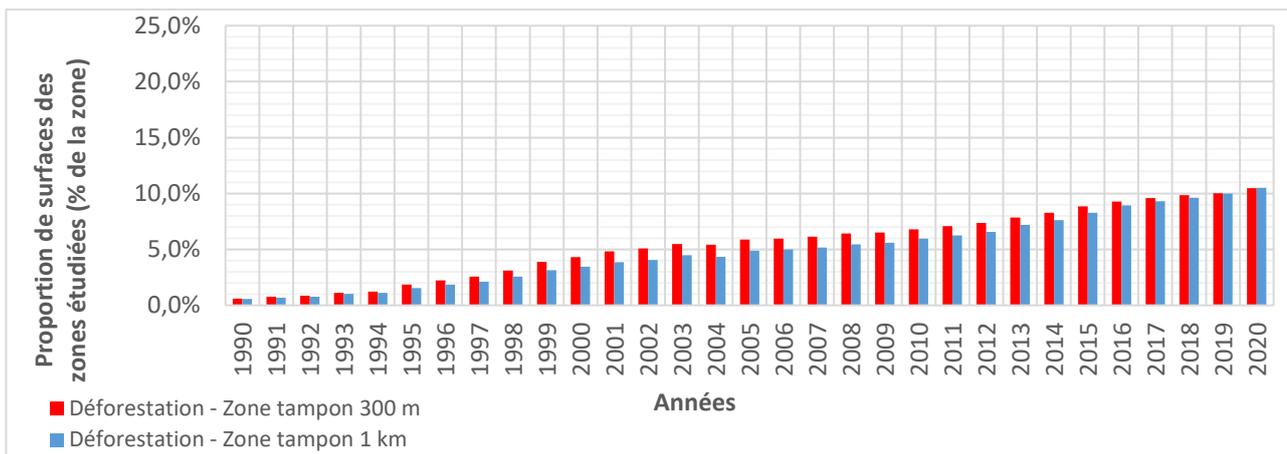
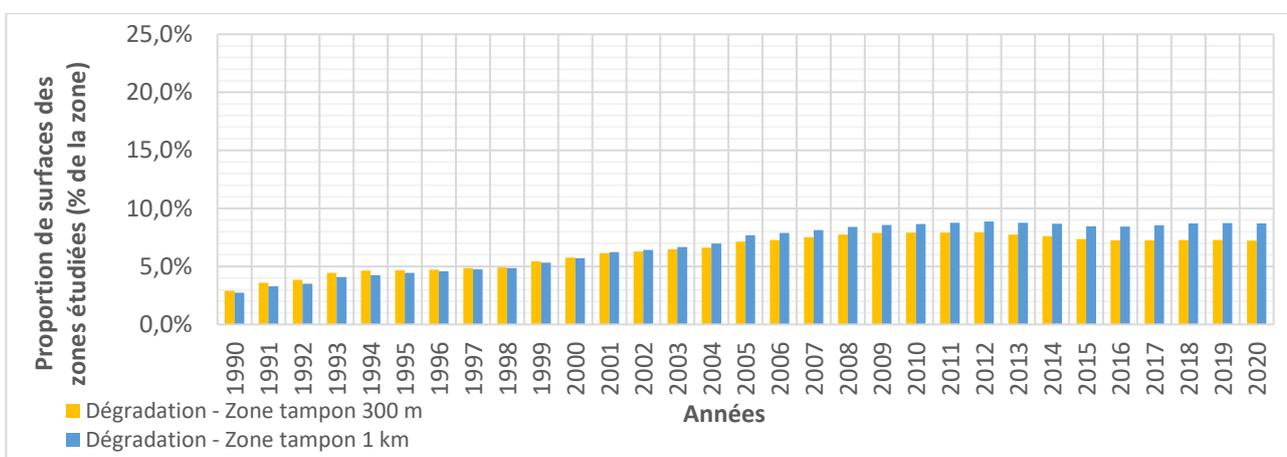


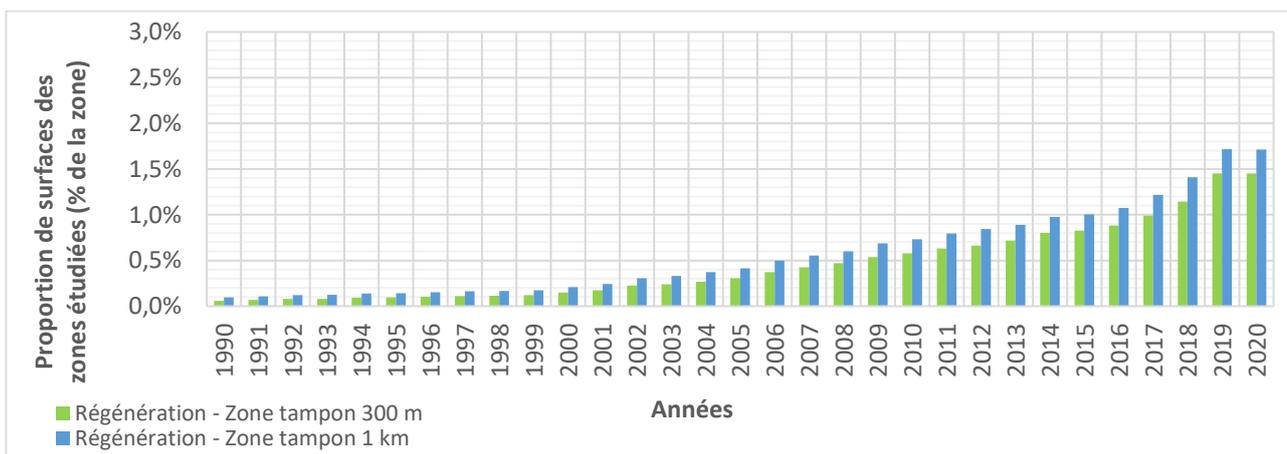
Figure 60 : Évolution des trois processus dans la zone tampon de 300 mètres autour du réseau routier principal – Madre de Dios



**A**



**B**



**C**

Figure 61 : Évolution de la régénération dans les zones tampon de 300 mètres et de 1 km autour du réseau routier principal à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C)

## Annexe 19 : Réseau routier secondaire – Madre de Dios

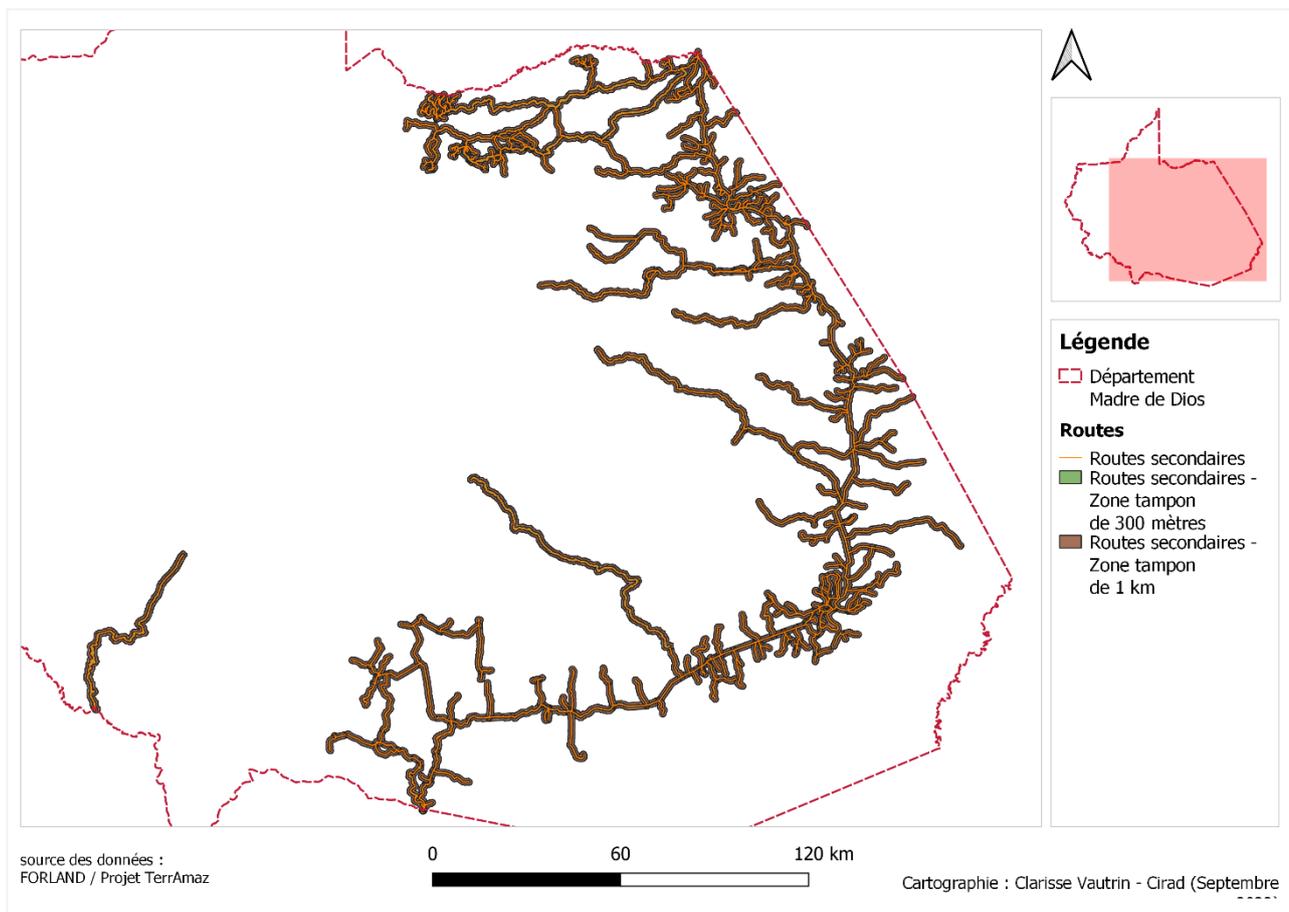


Figure 62 : Carte du réseau routier secondaire – Madre de Dios

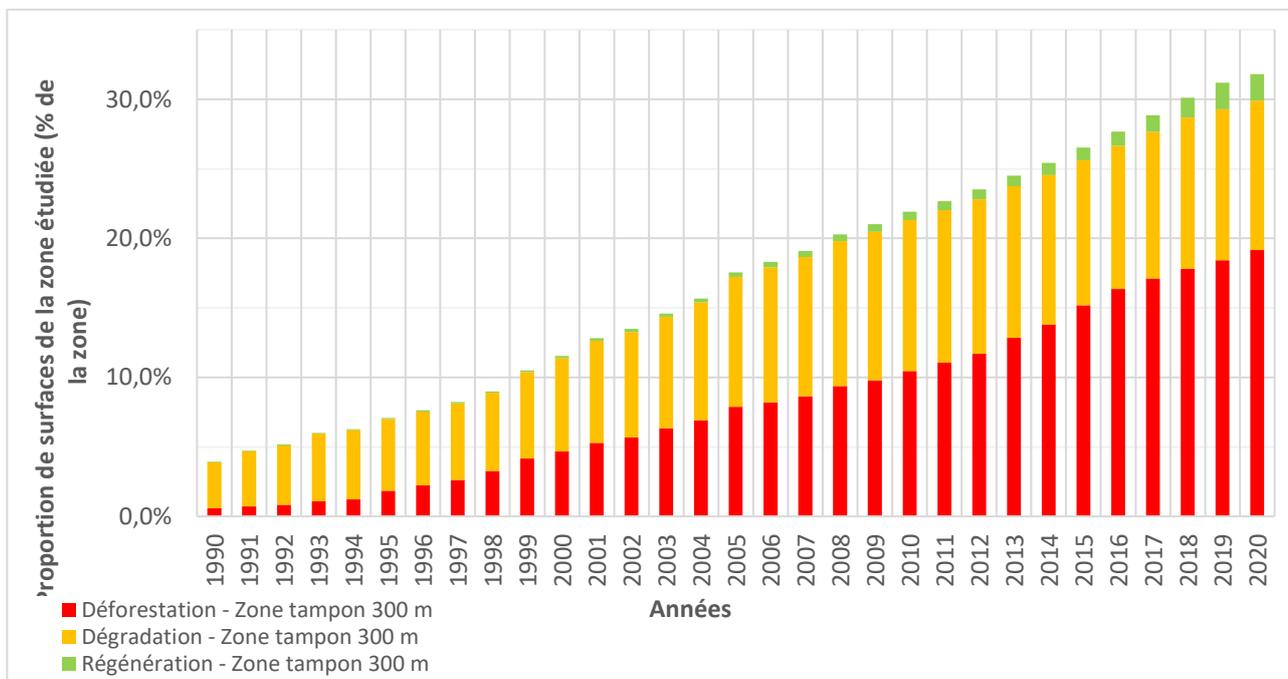
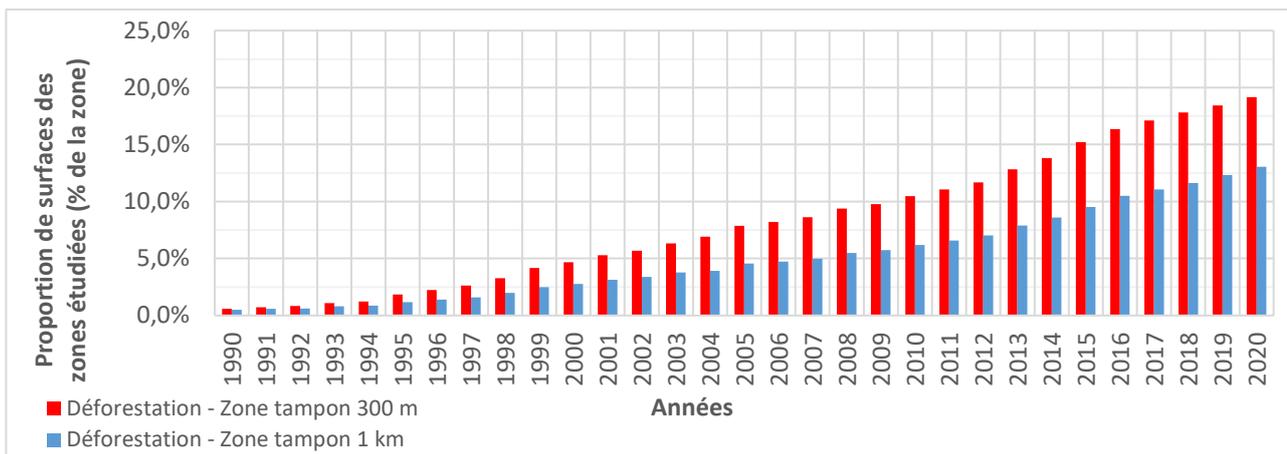
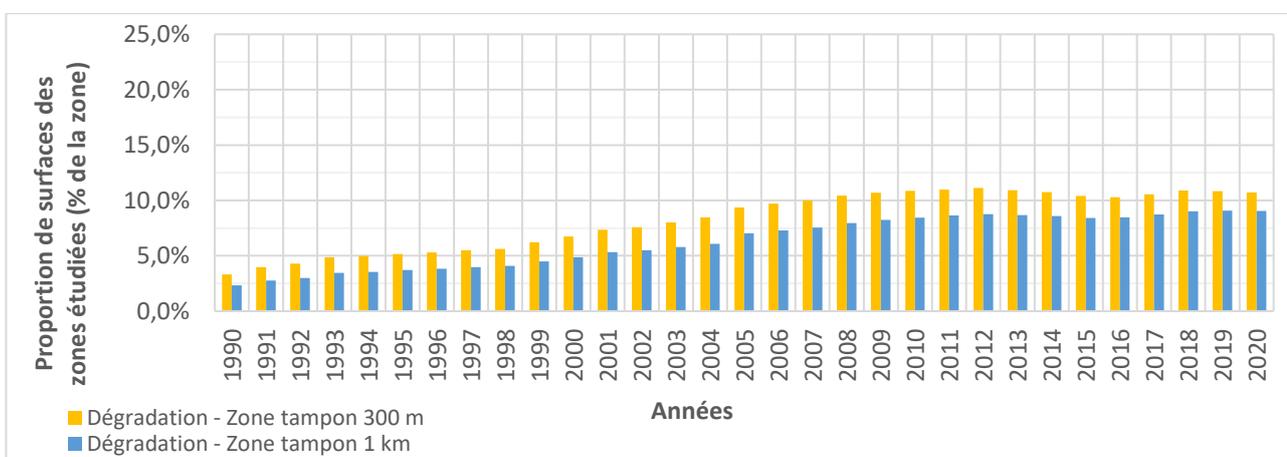


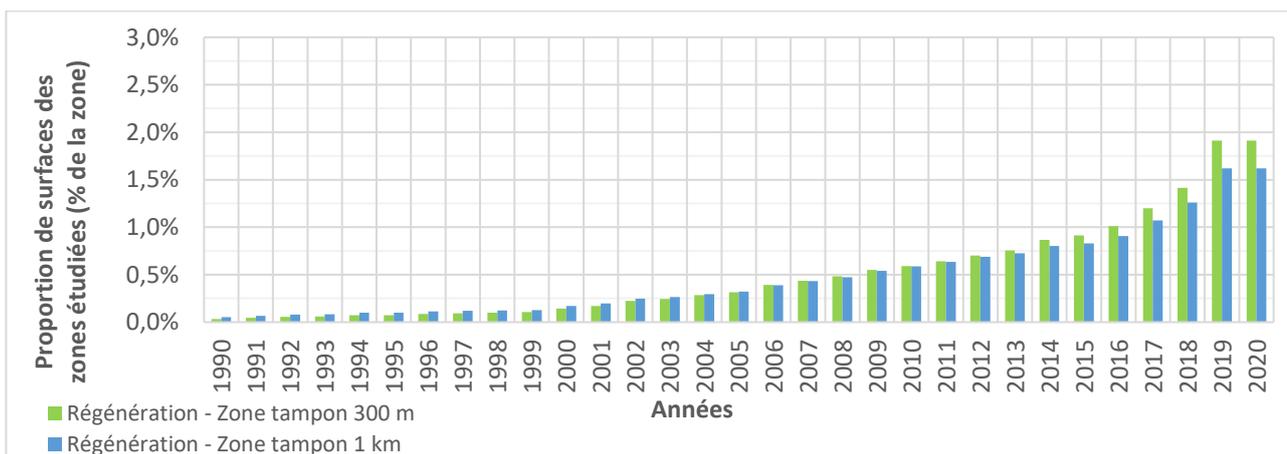
Figure 63 : Évolution des trois processus dans la zone tampon de 300 mètres autour du réseau routier secondaire – Madre de Dios



**A**



**B**



**C**

Figure 64 : Évolution de la régénération dans les zones tampon de 300 mètres et de 1 km autour du réseau routier secondaire à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C)

## Annexe 20 : Comparaison des zones étudiées pour Madre de Dios

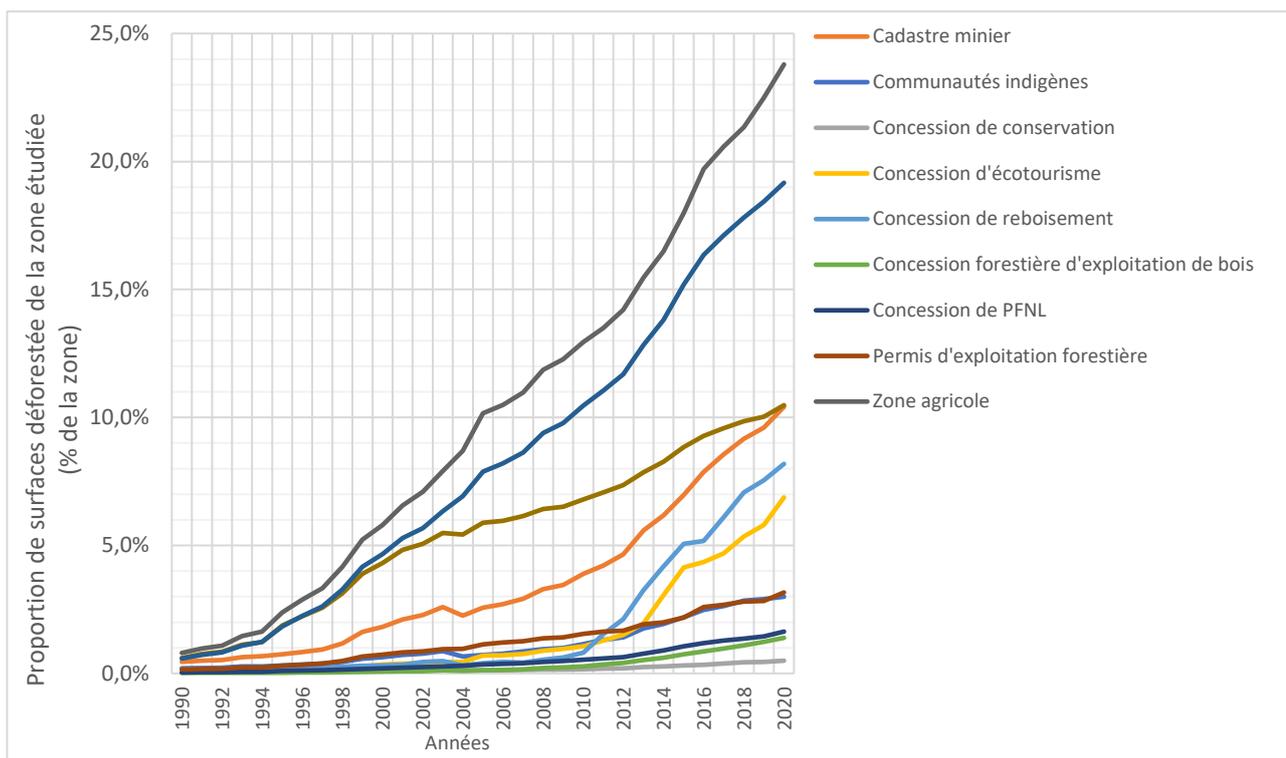


Figure 65 : Évolution de la déforestation : comparaison des zones étudiées – Madre de Dios

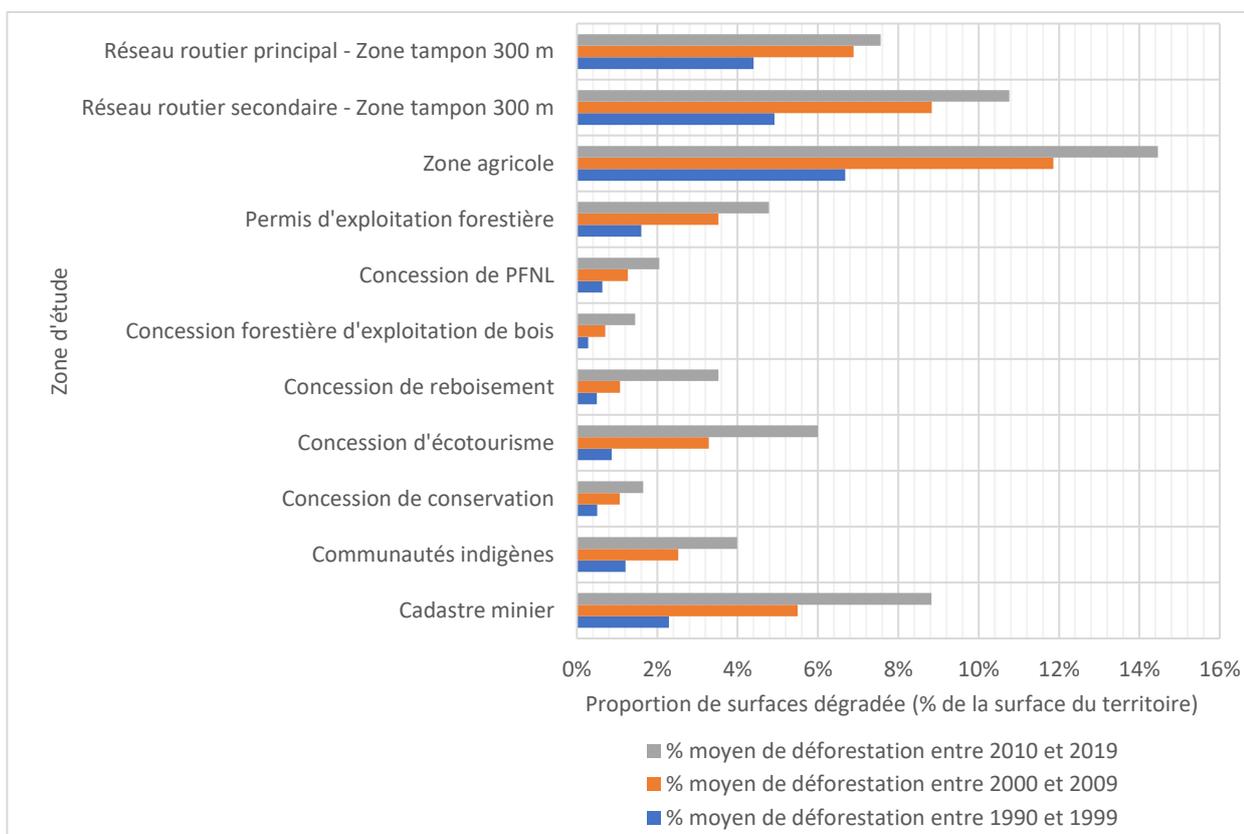


Figure 66 : Déforestation – Moyennes par décennie : comparaison des zones étudiées – Madre de Dios

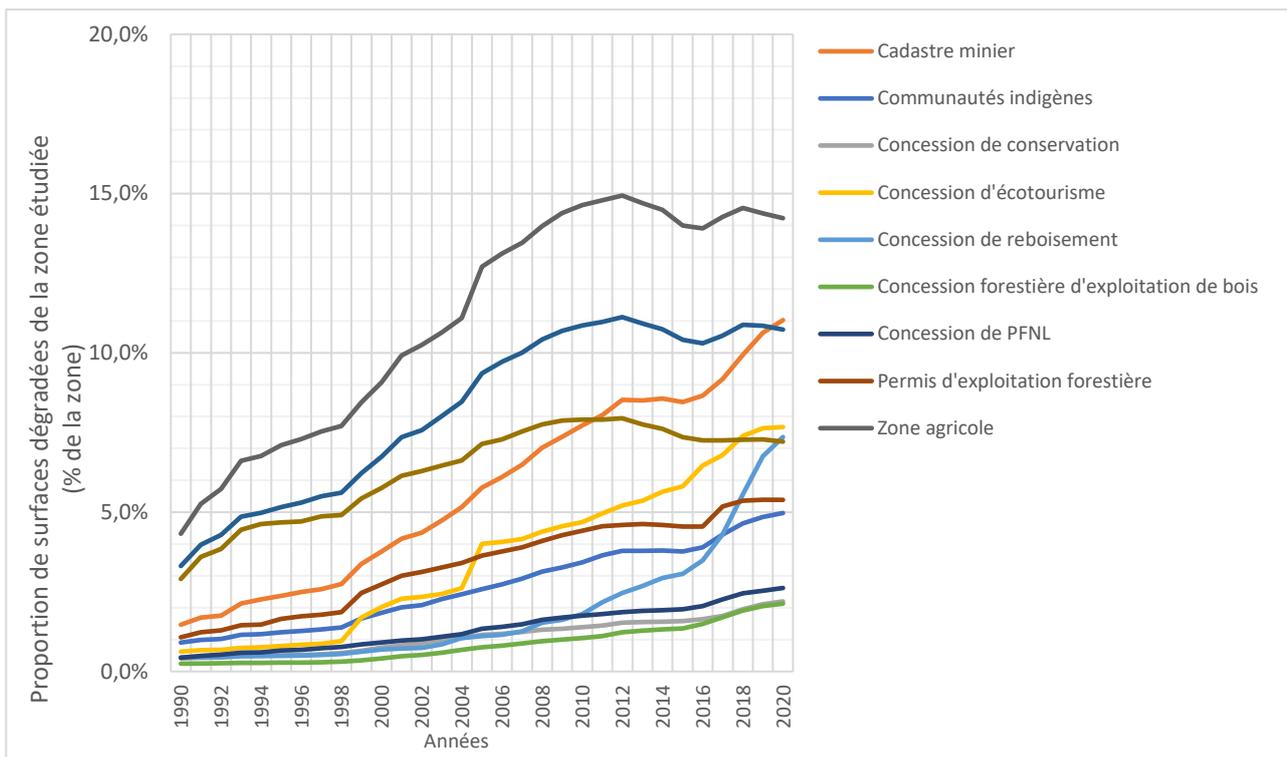


Figure 67 : Évolution de la dégradation : comparaison des zones étudiées – Madre de Dios

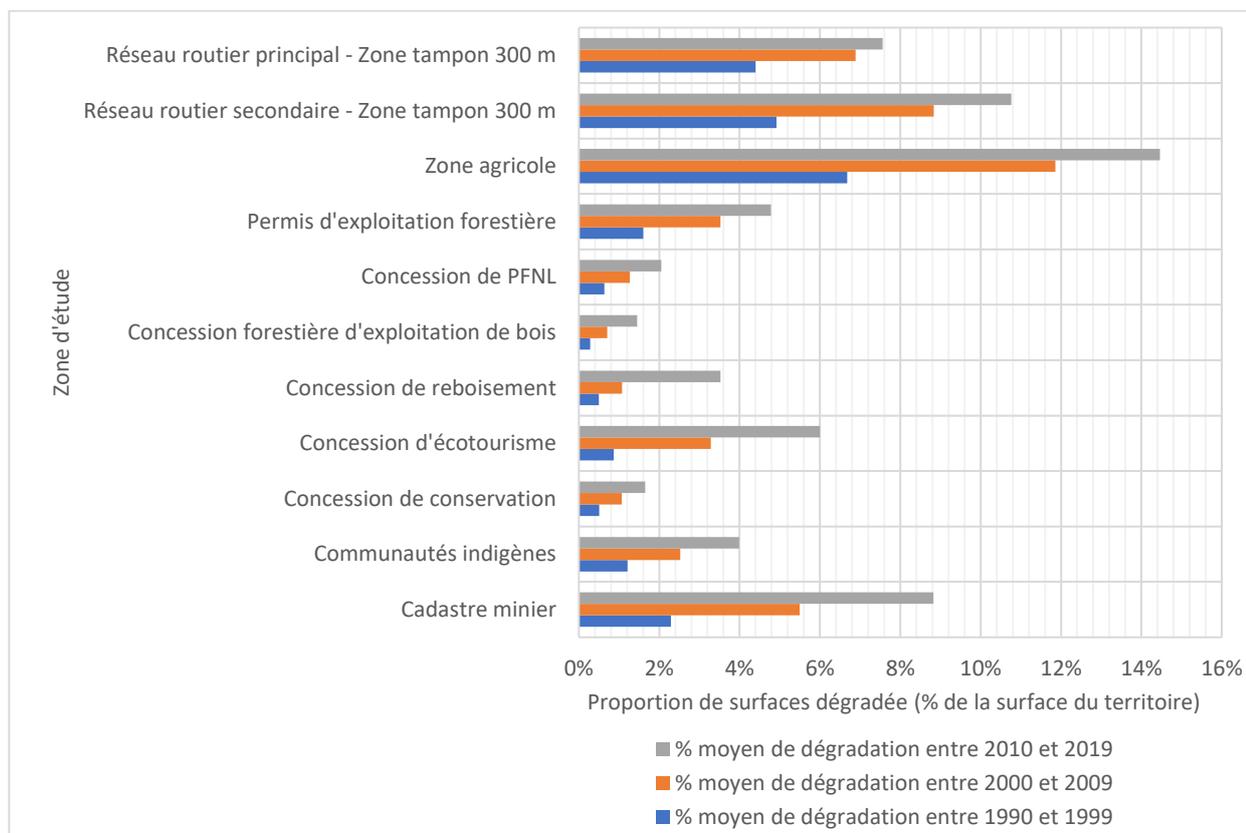


Figure 68 : Dégradation – Moyennes par décennie : comparaison des zones étudiées – Madre de Dios

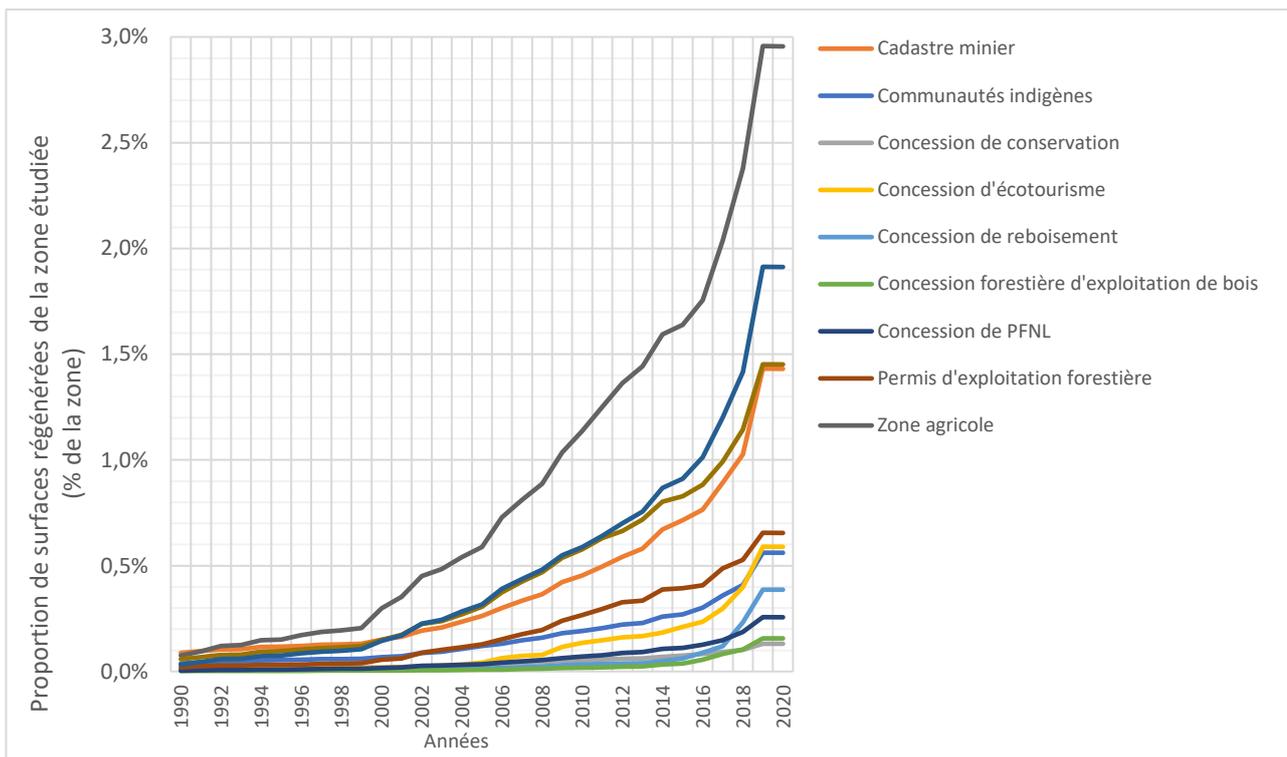


Figure 69 : Évolution de la régénération : comparaison des zones étudiées – Madre de Dios

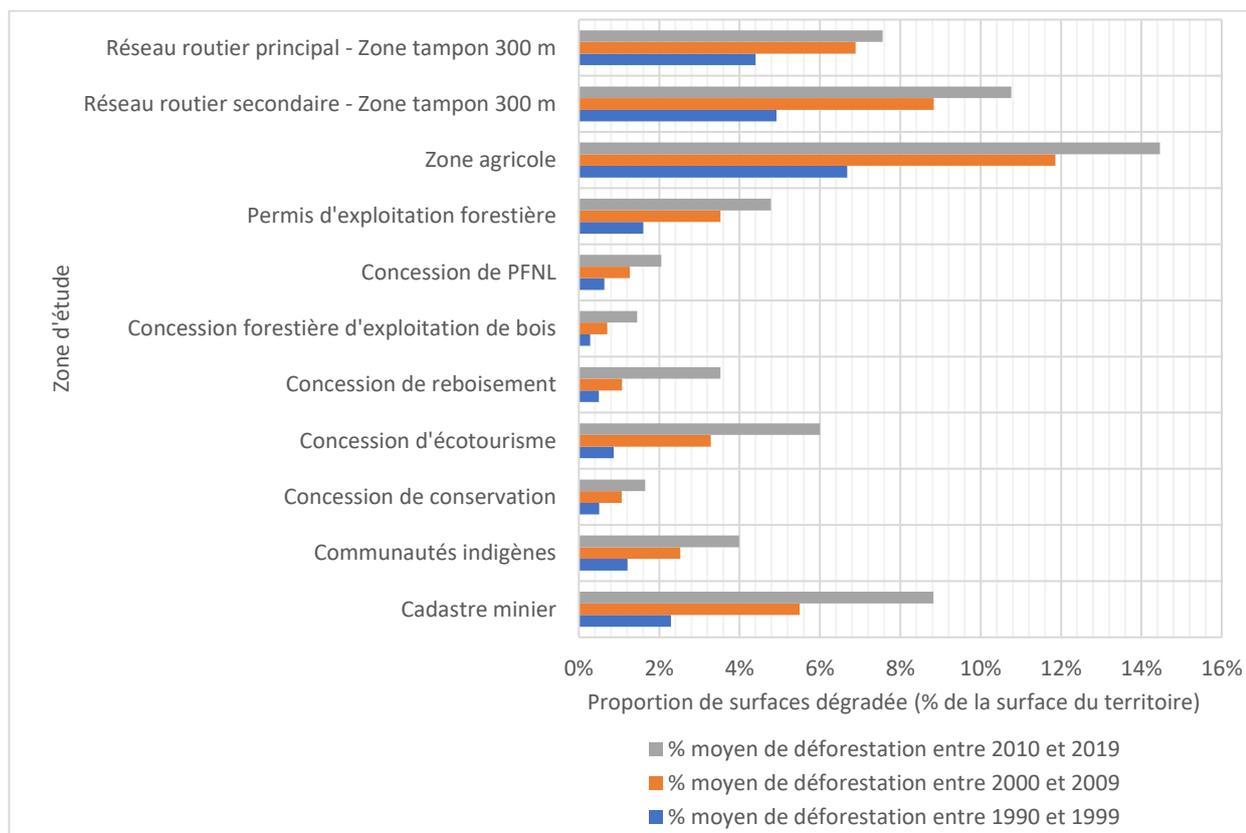


Figure 70 : Régénération – Moyennes par décennie : comparaison des zones étudiées – Madre de Dios

## Annexe 21 : Aires prioritaires de restauration et Aires de restauration DRMI – Guaviare

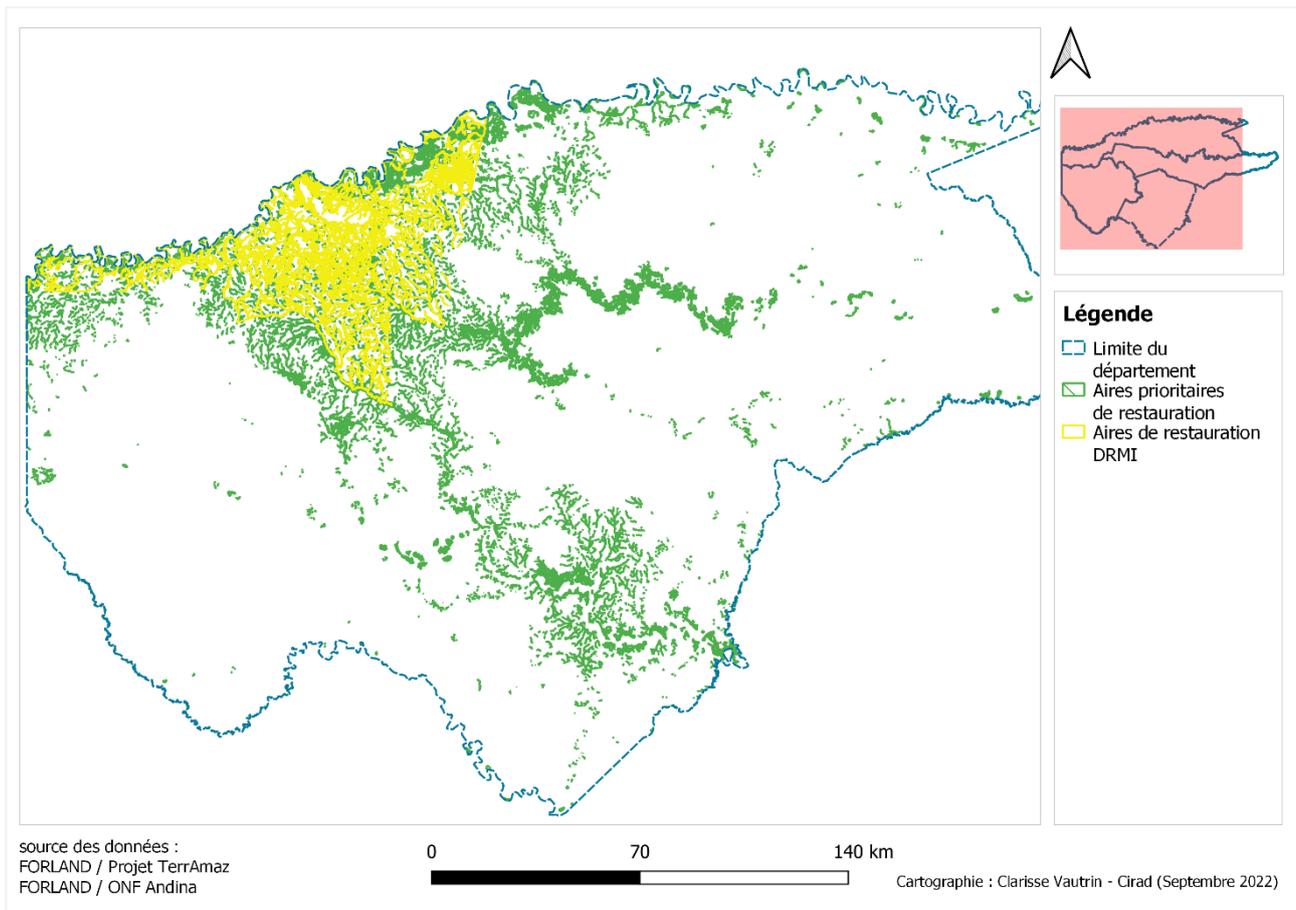


Figure 71 : Carte des aires de restauration – Guaviare

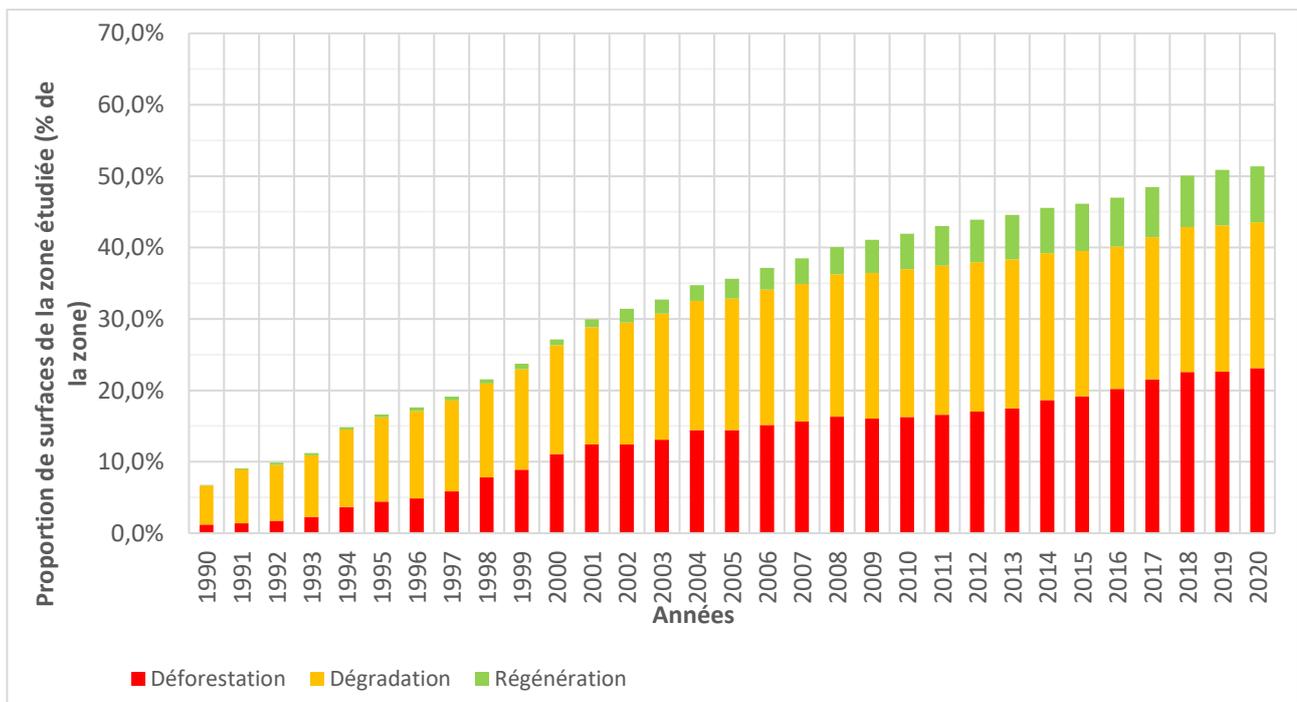


Figure 72 : Évolution des trois processus dans les aires prioritaires de restauration – Guaviare

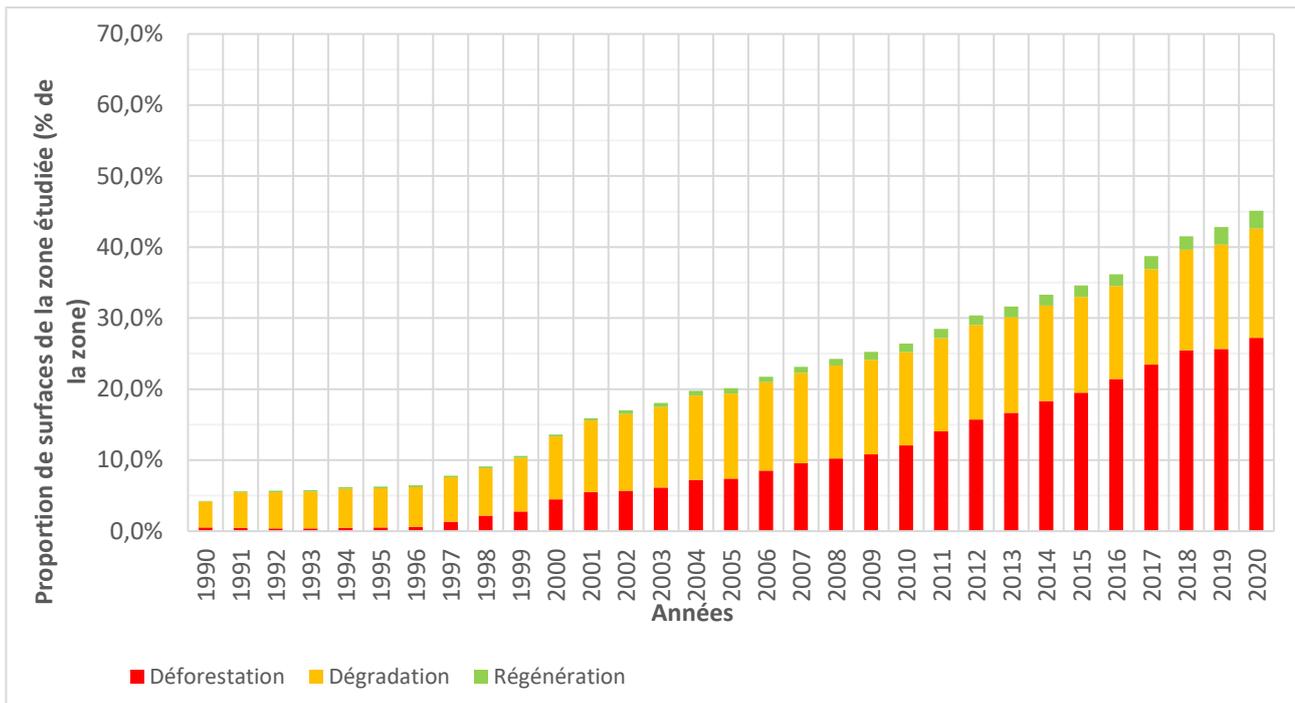


Figure 73 : Évolution des trois processus dans les aires de restauration DRMI – Guaviare

Annexe 22 : Aires protégées RUNAP – Guaviare

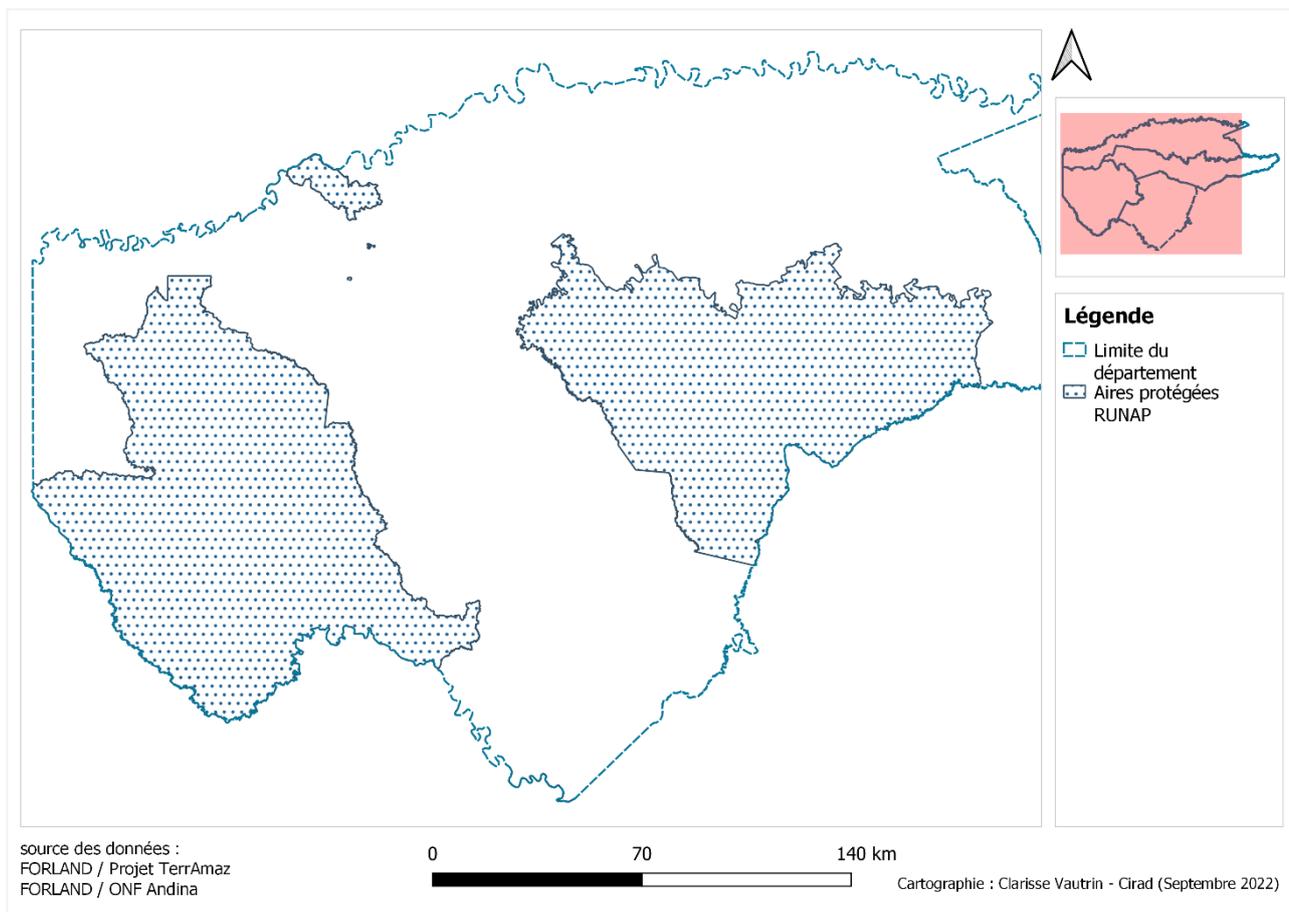


Figure 74 : Carte des aires protégées RUNAP – Guaviare

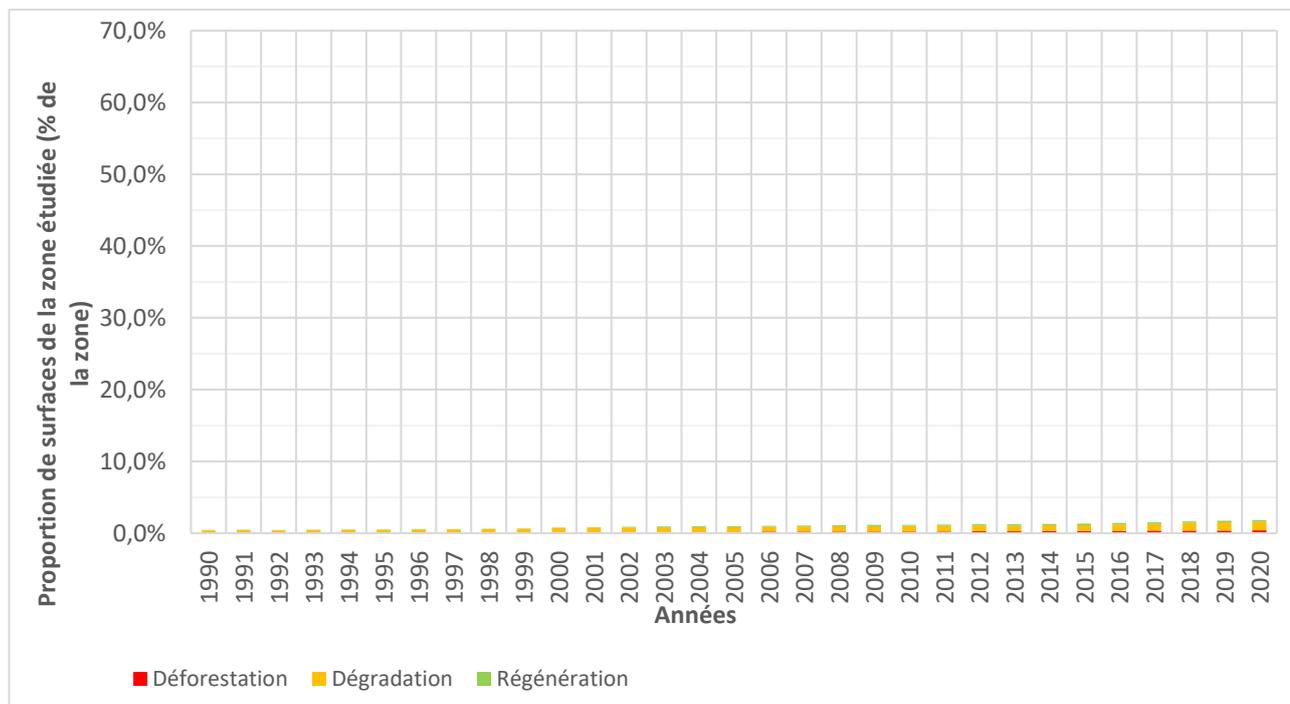


Figure 75 : Évolution des trois processus dans les aires protégées RUNAP – Guaviare

### Annexe 23 : Zonage agricole – Guaviare

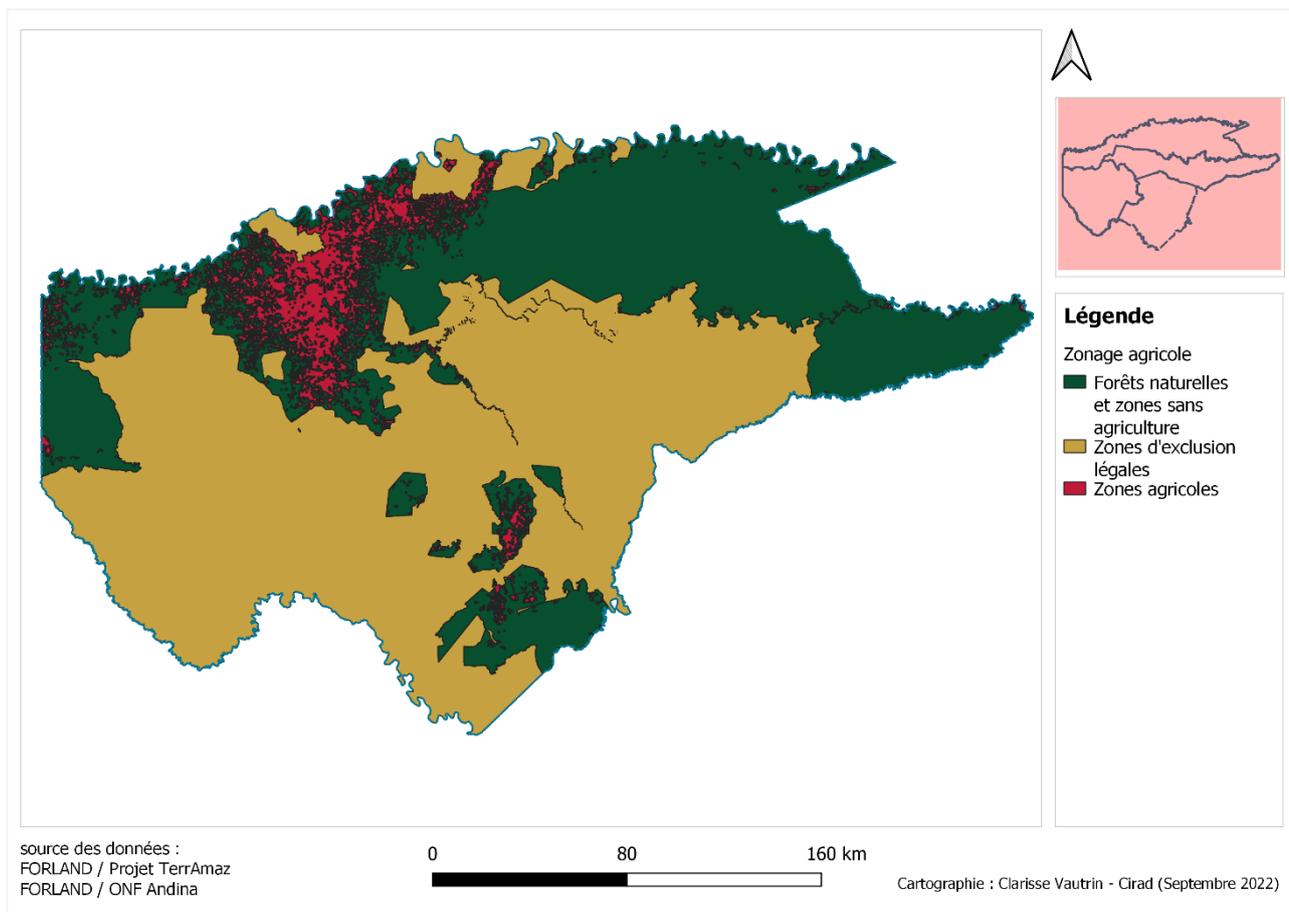
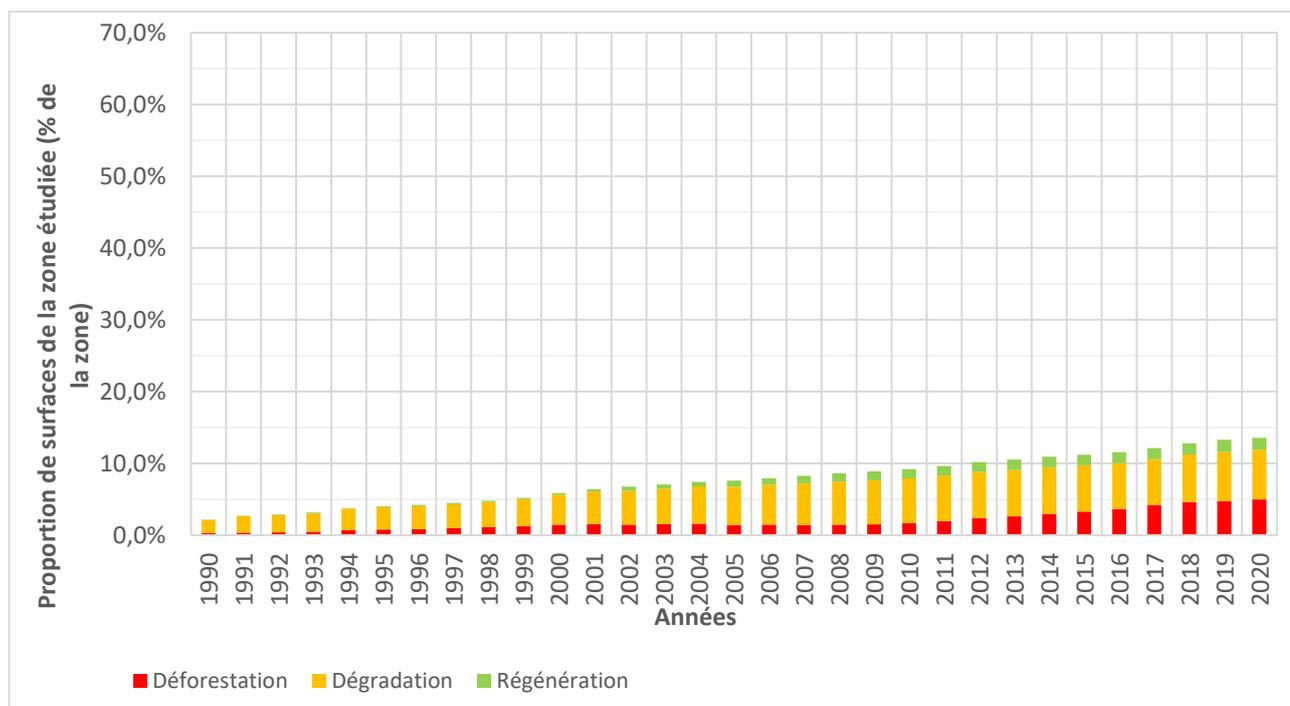
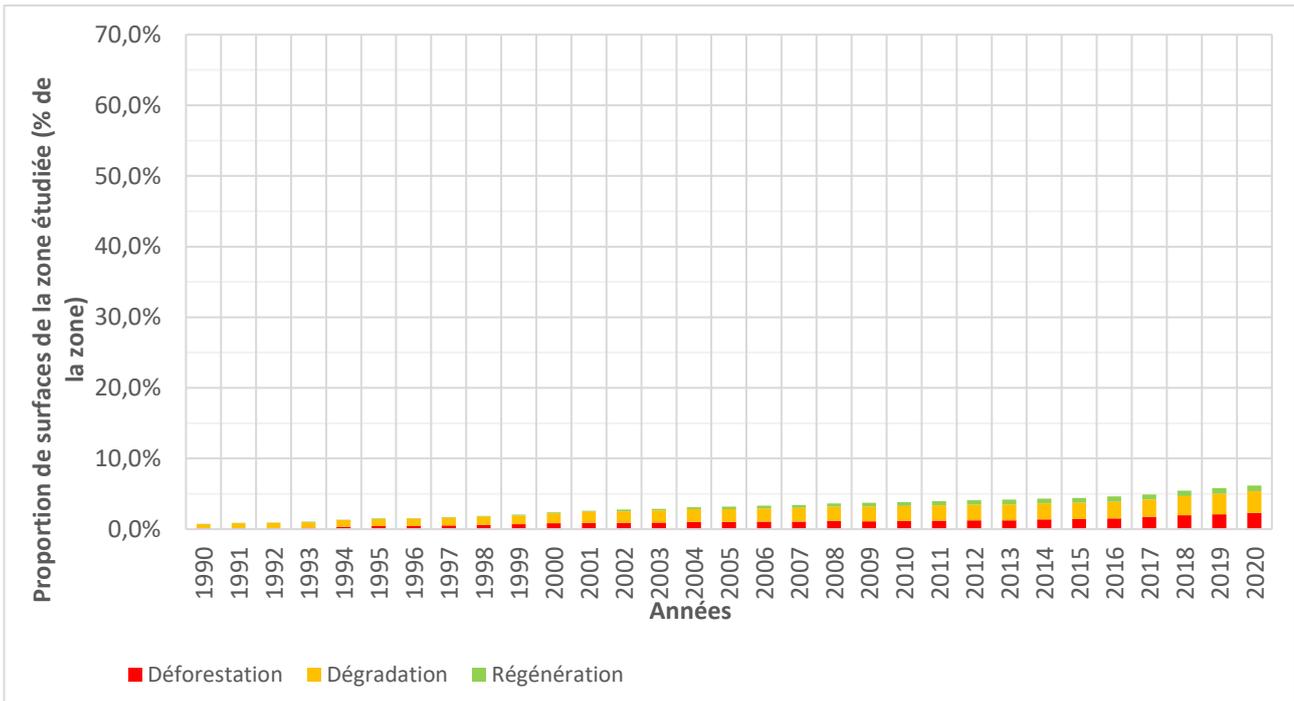


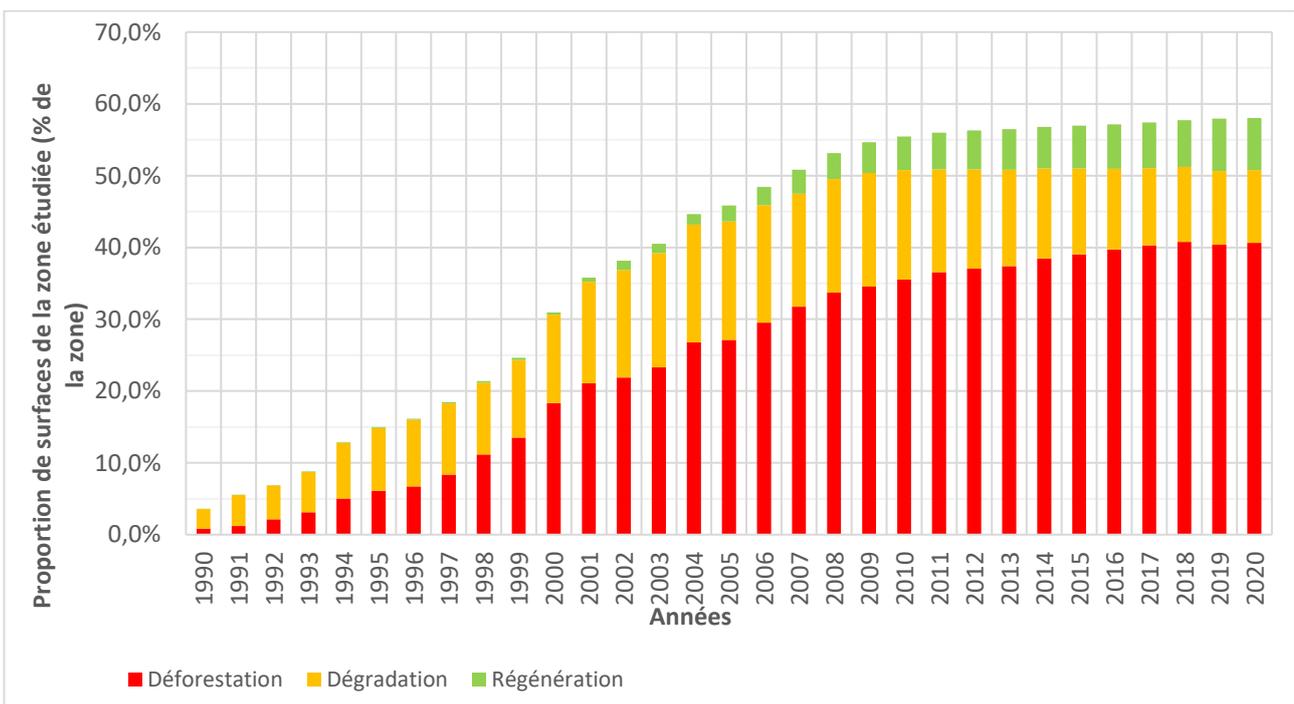
Figure 76 : Carte du zonage agricole – Guaviare



A



**B**



**C**

Figure 77 : Évolution des trois processus selon le zonage agricole à Guaviare : Forêts naturelles et zones sans agriculture (A), zones d'exclusions légales (B), zones agricoles (C)

## Annexe 24 : POMCA – Guaviare

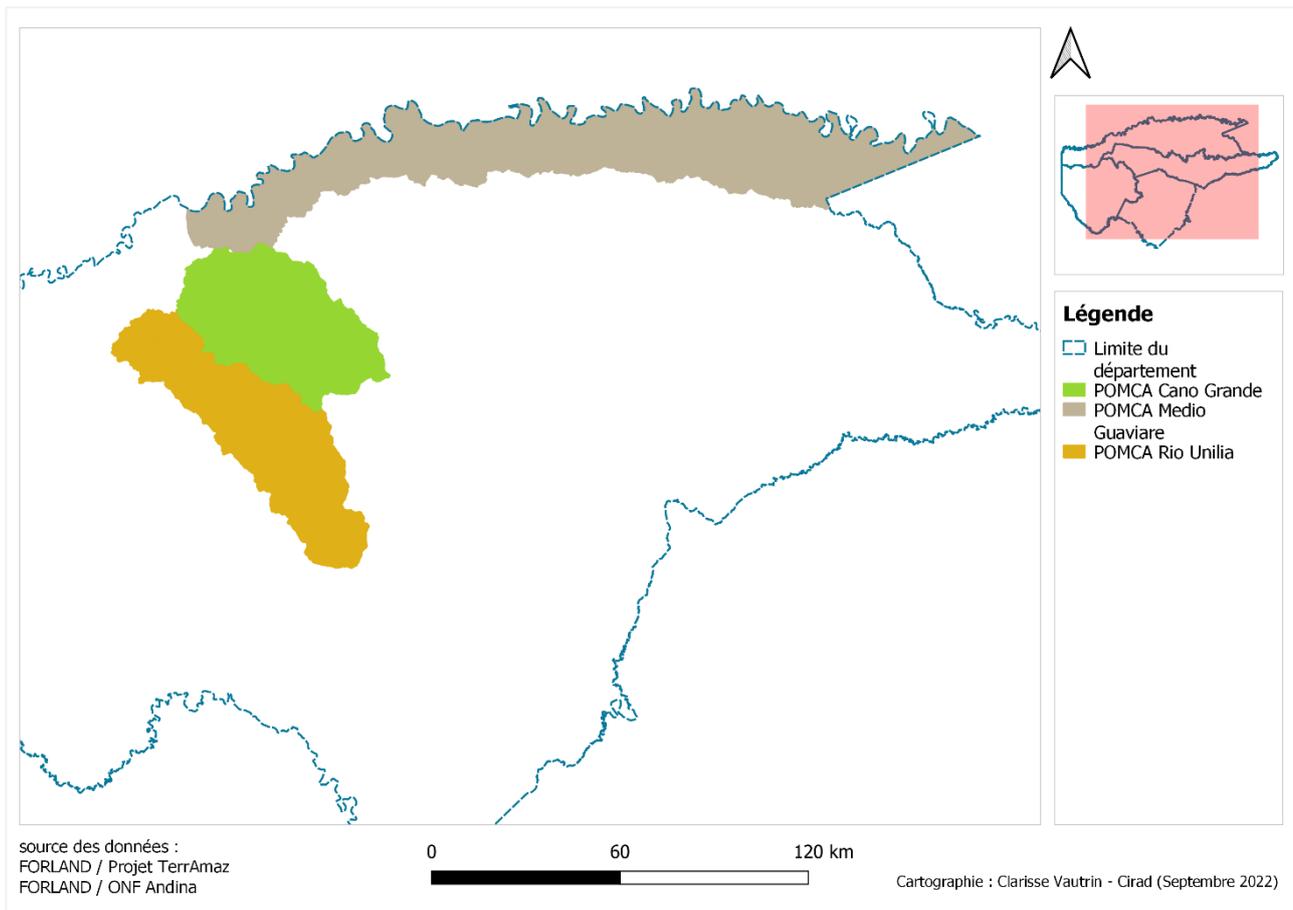
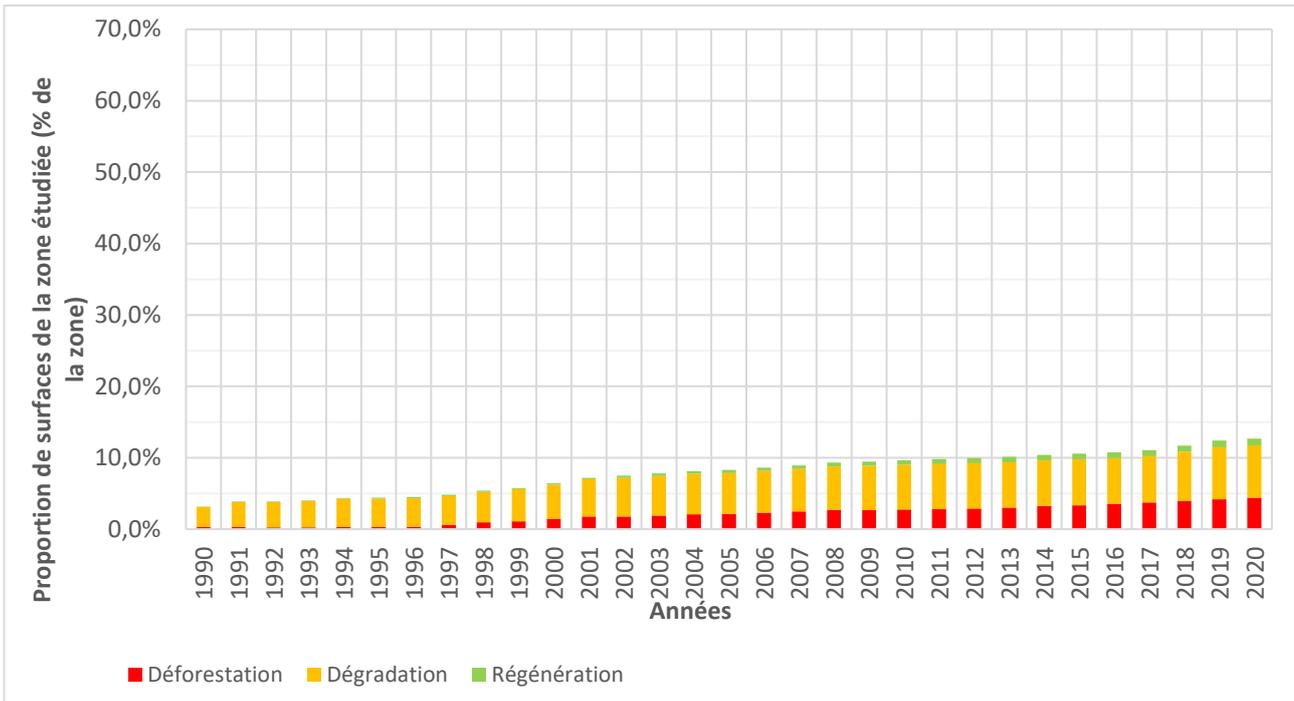


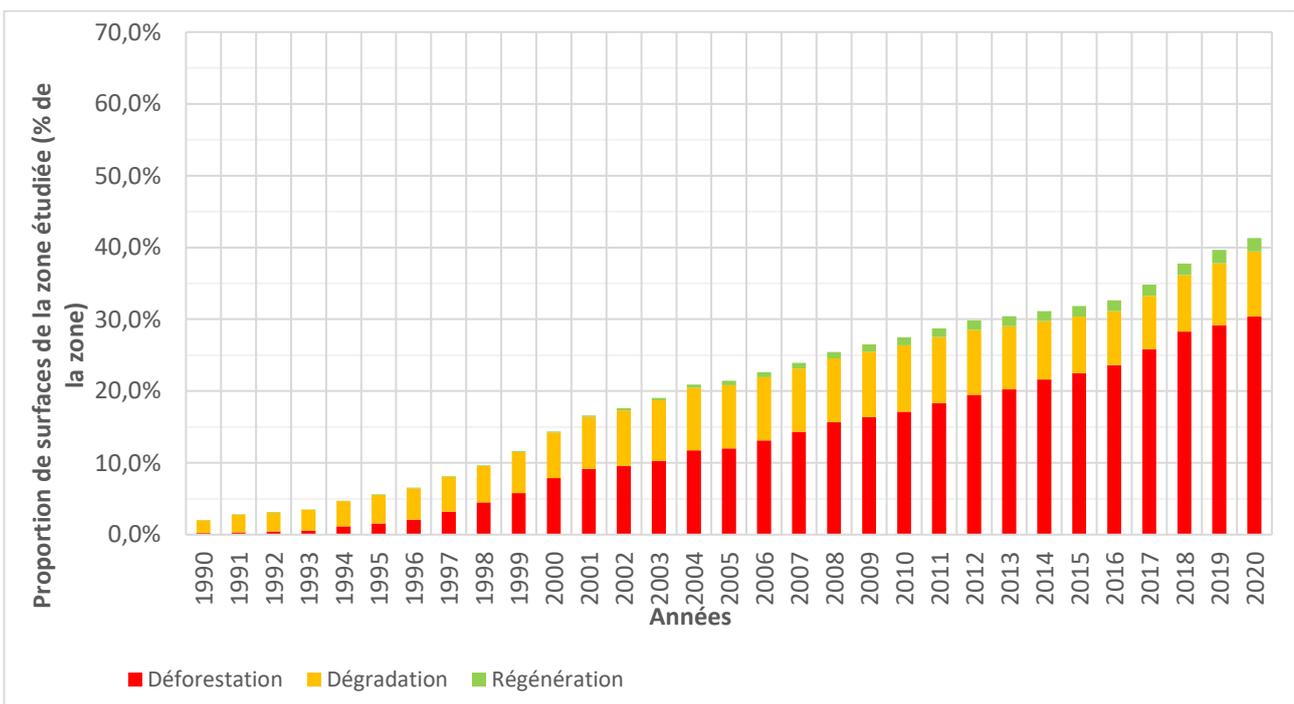
Figure 78 : Carte des POMCA – Guaviare



A



**B**



**C**

Figure 79 : Évolution des trois processus dans les POMCA à Guaviare : Cano Grande (A), Médio Guaviare (B), Rio Unilia (C)

**Annexe 25 : Réserves indigènes et réserves paysannes – Guaviare**

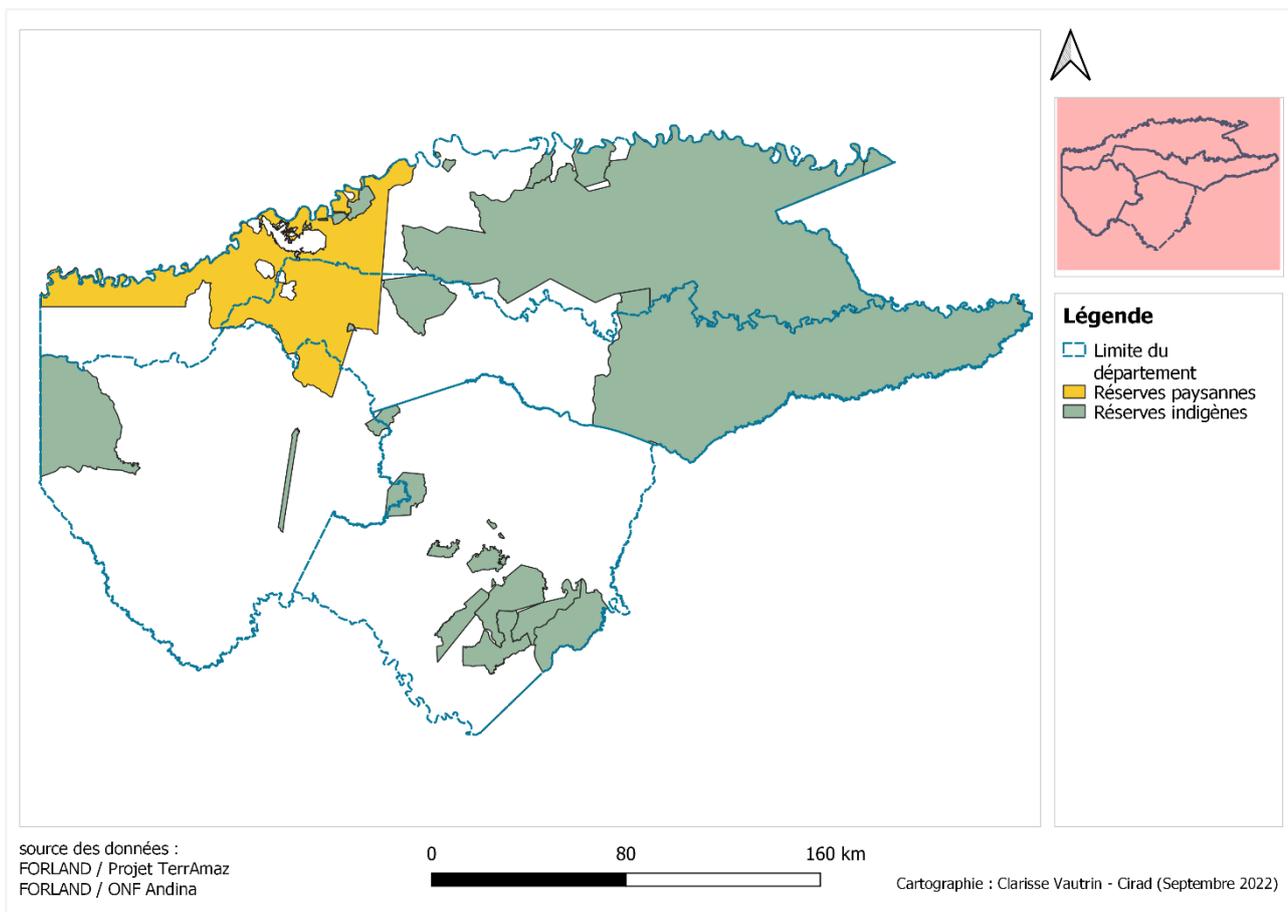
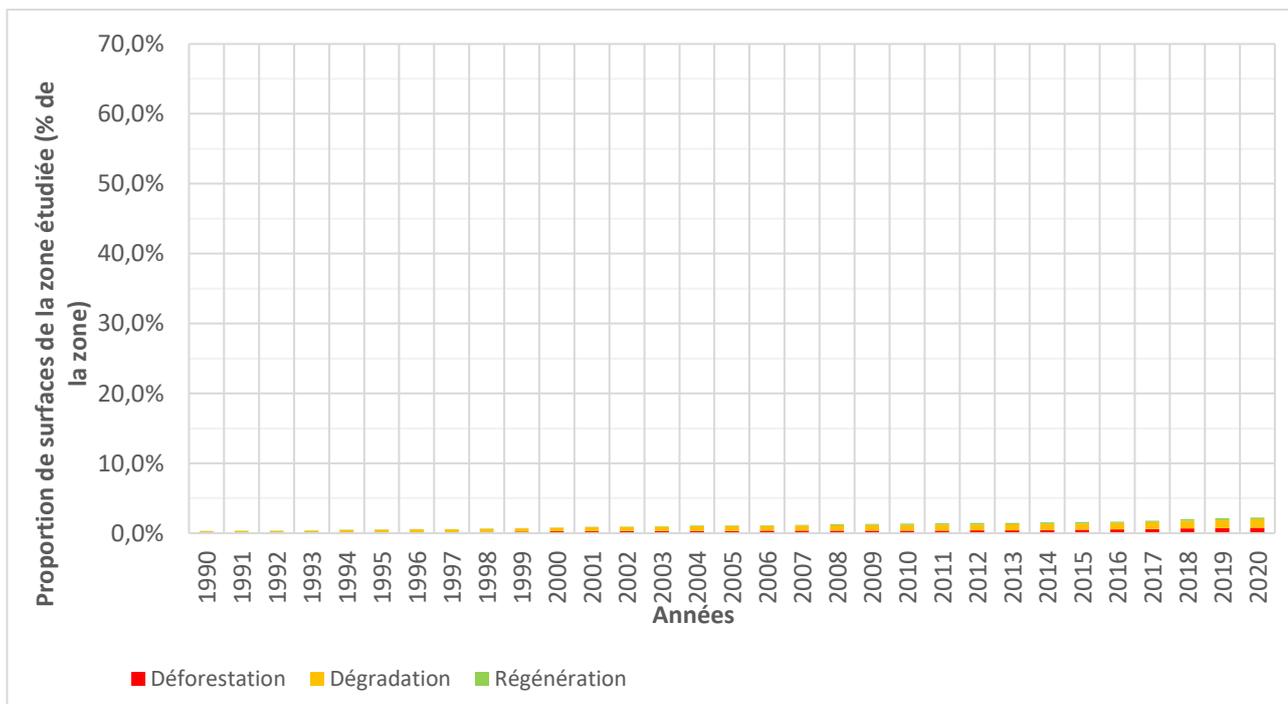
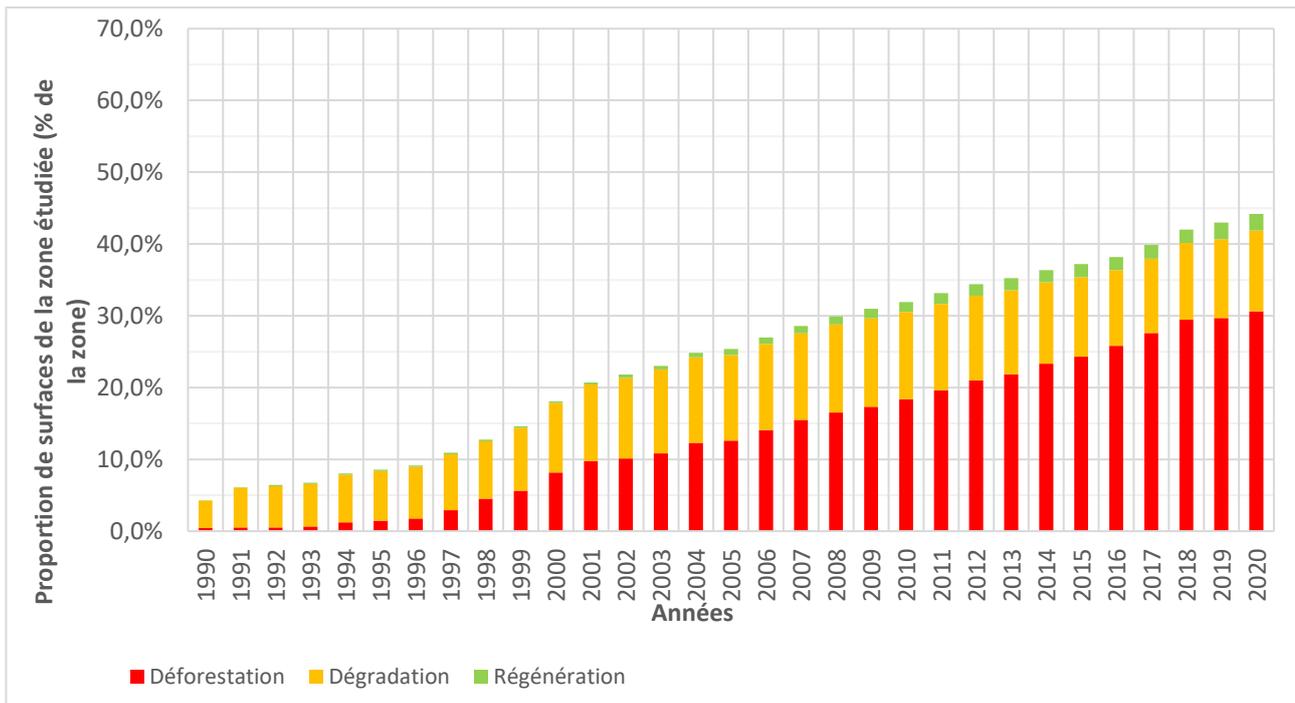


Figure 80 : Carte des réserves indigènes et réserves paysannes – Guaviare



A



**B**

Figure 81 : Évolution des trois processus dans les réserves à Guaviare : réserves indigènes (A), réserves paysannes (B)

Annexe 26 : UAPSS – Guaviare

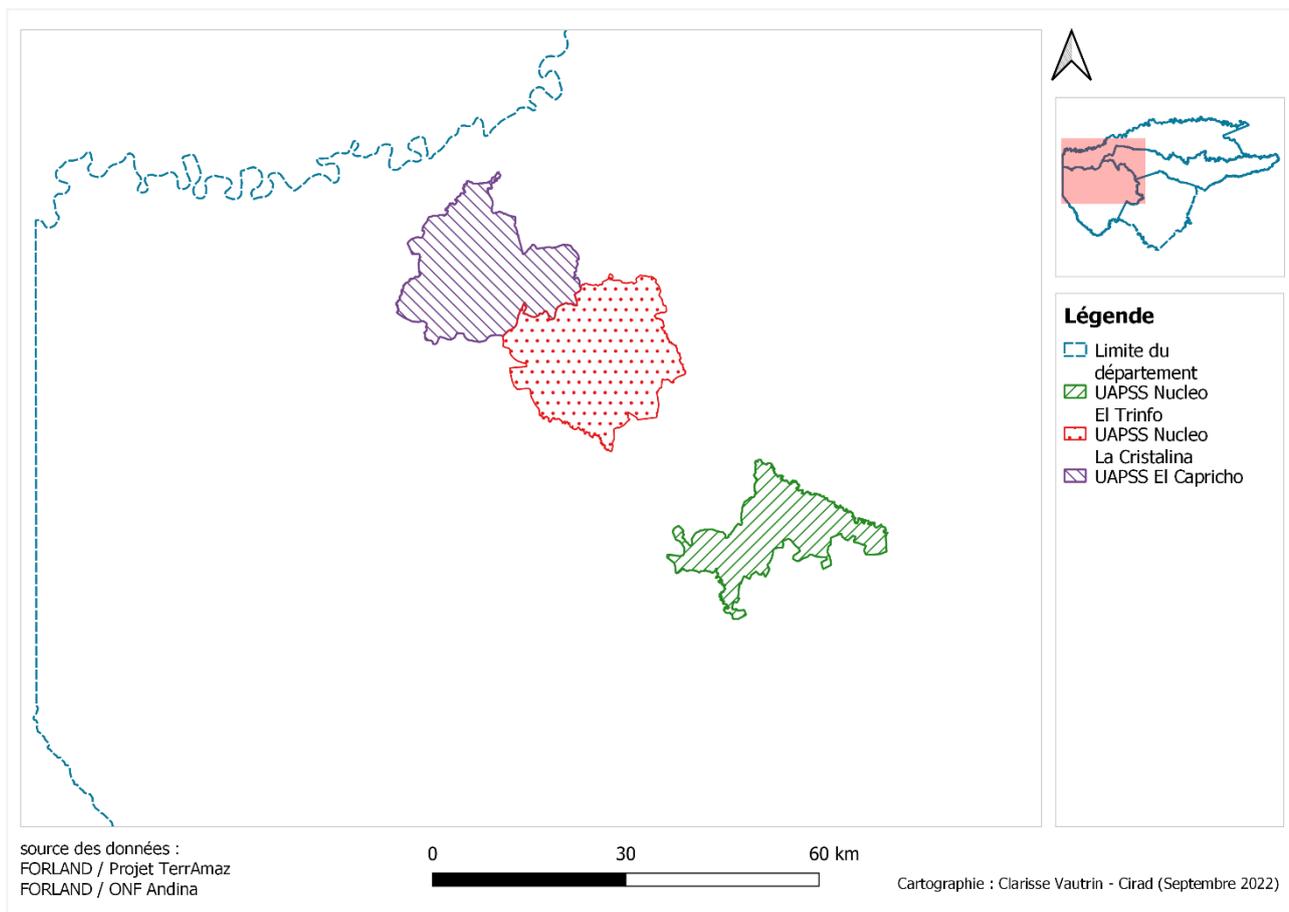
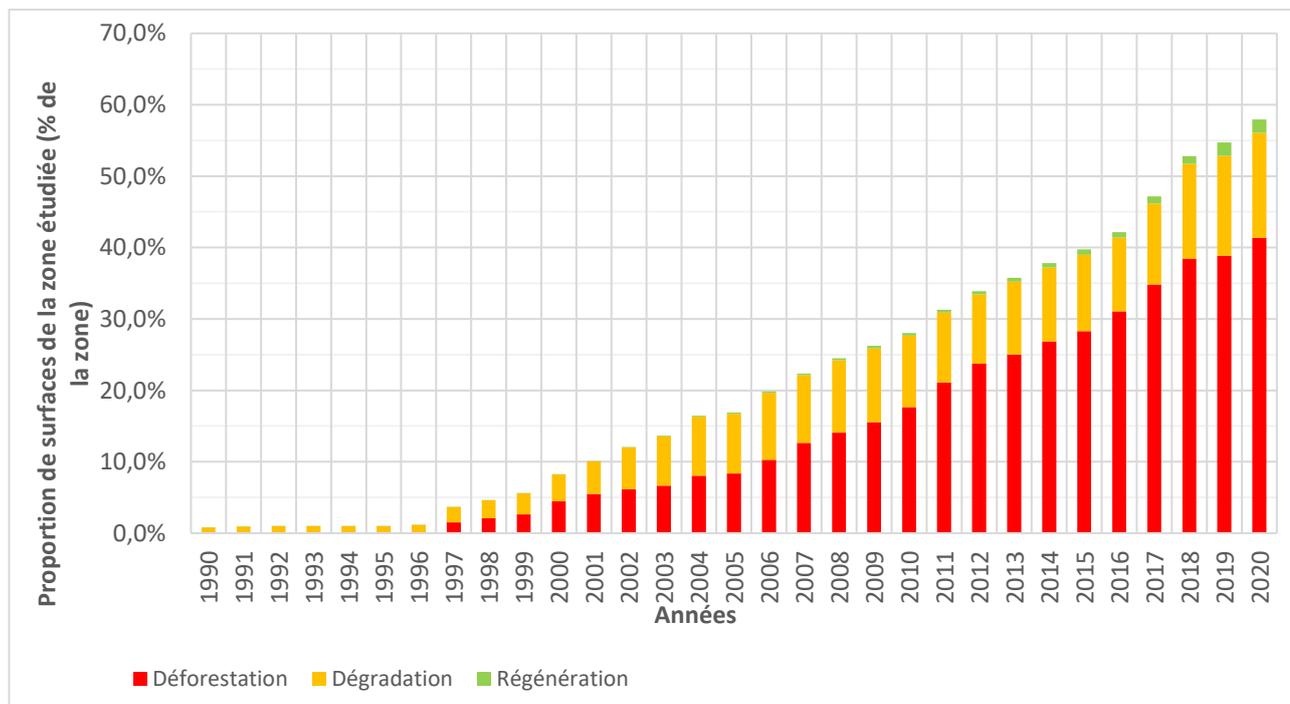
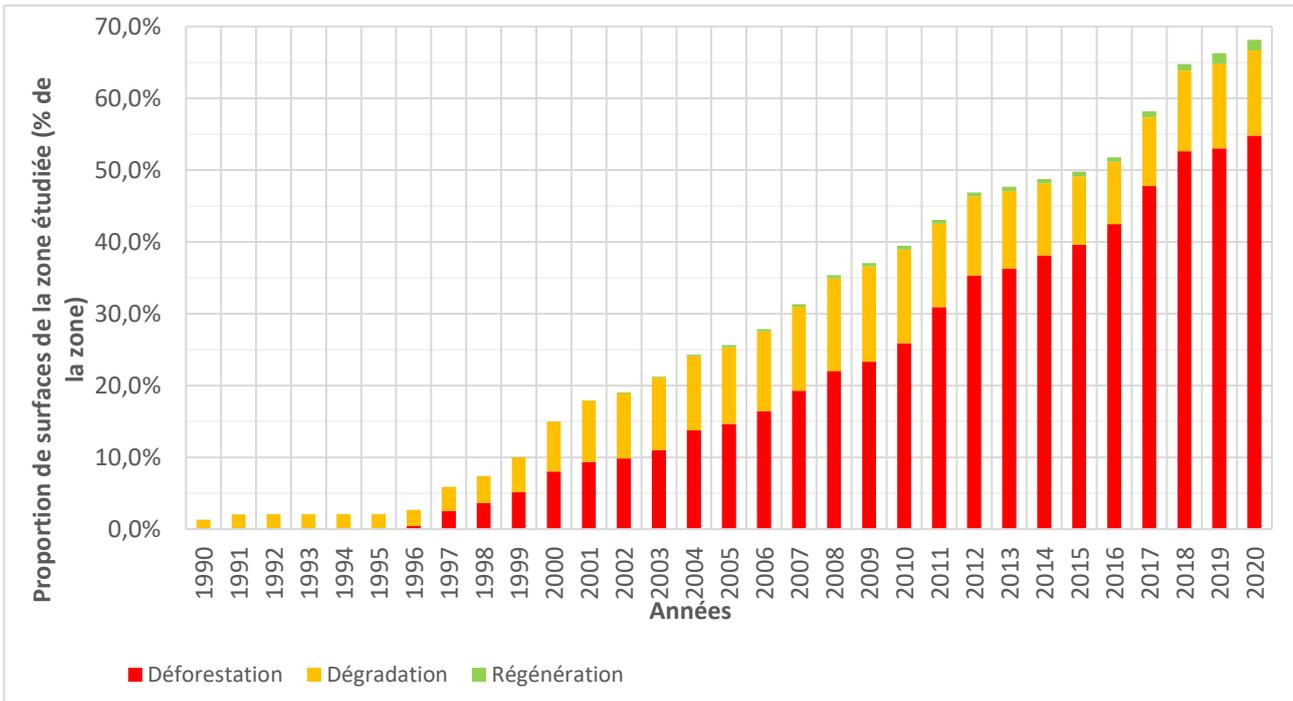


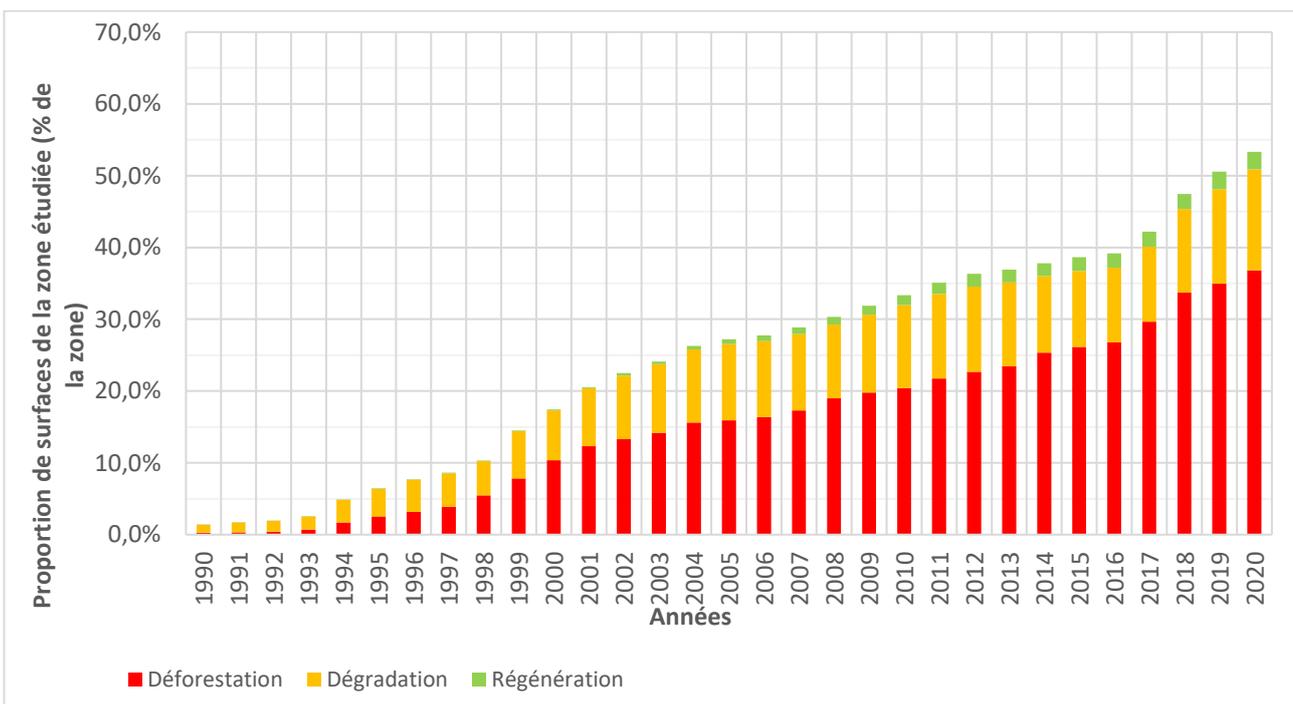
Figure 82 : Carte des UAPSS – Guaviare



A



**B**

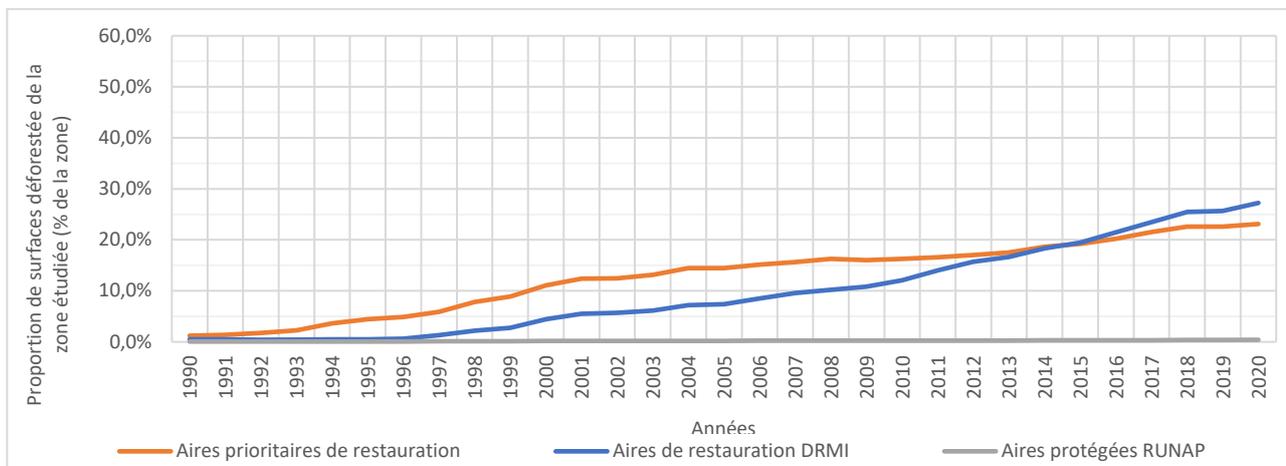


**C**

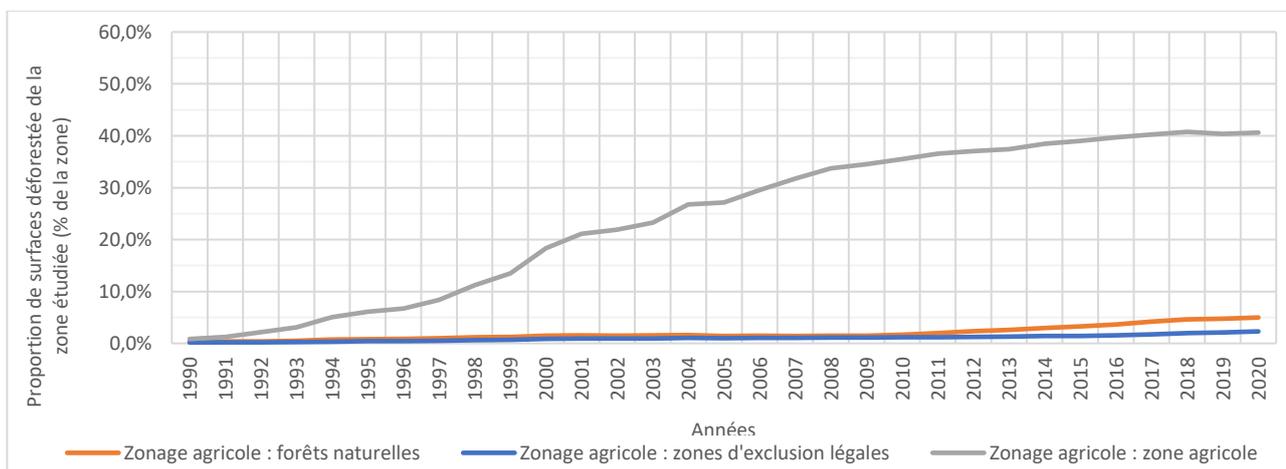
Figure 83 : Évolution des trois processus dans les UAPSS à Guaviare : UAPSS El Capricho (A), UAPSS Nucleo La Cristalina (B), UAPSS Nucleo El Trinfo (C)

## Annexe 27 : Comparaison des zones étudiées pour Guaviare

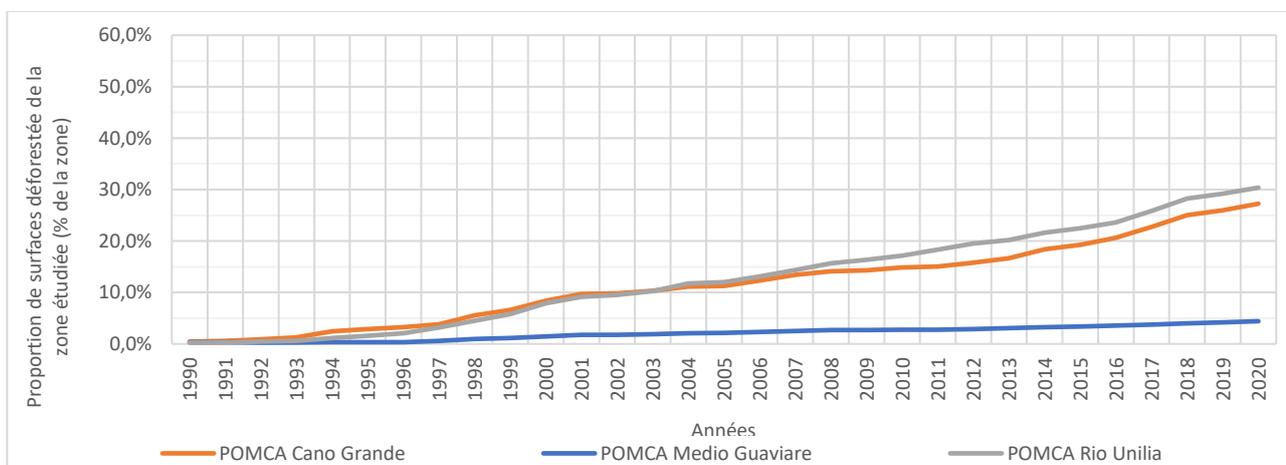
### Processus de déforestation : synthèse par type de zones



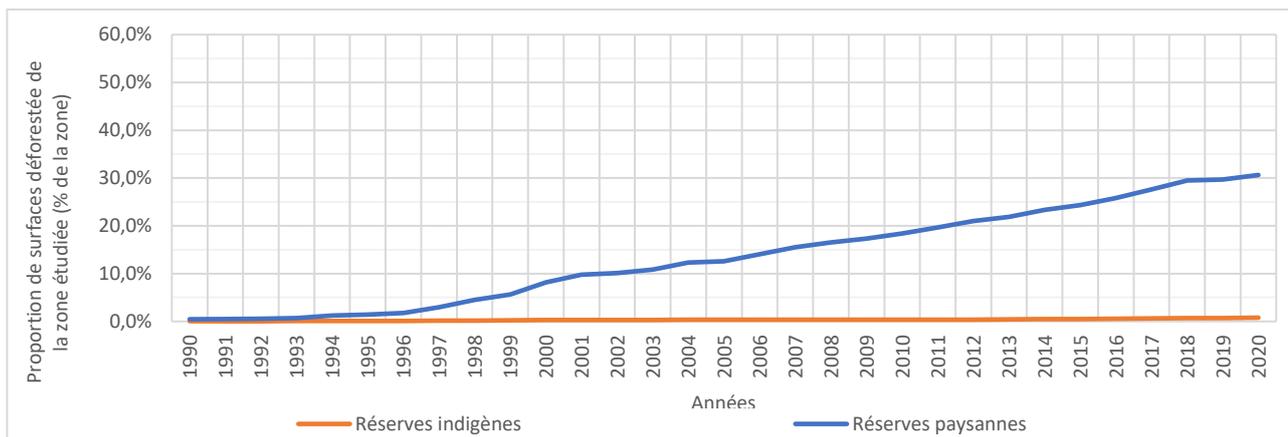
A



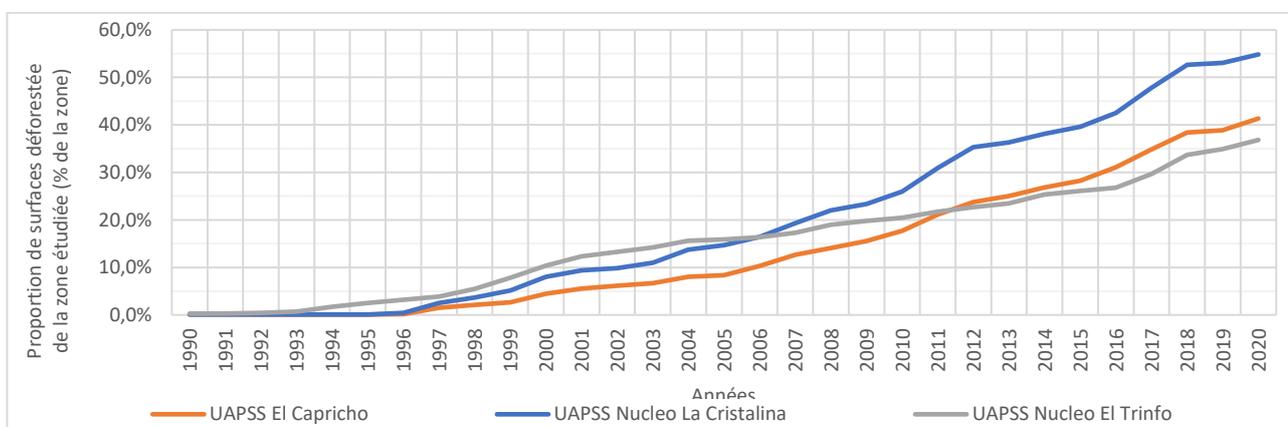
B



C



D



E

Figure 84 : Évolution de la déforestation à Guaviare : aires de restauration et aires protégées (A), zonage agricole (B), POMCA (C), réserves (D), UAPSS (E)

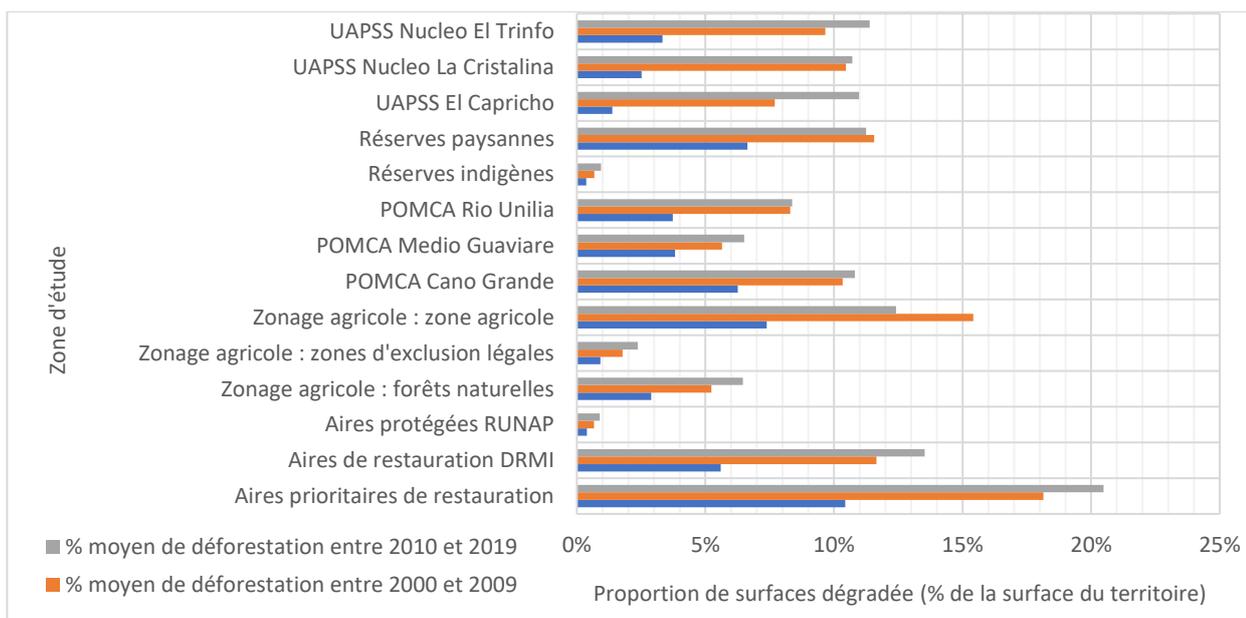
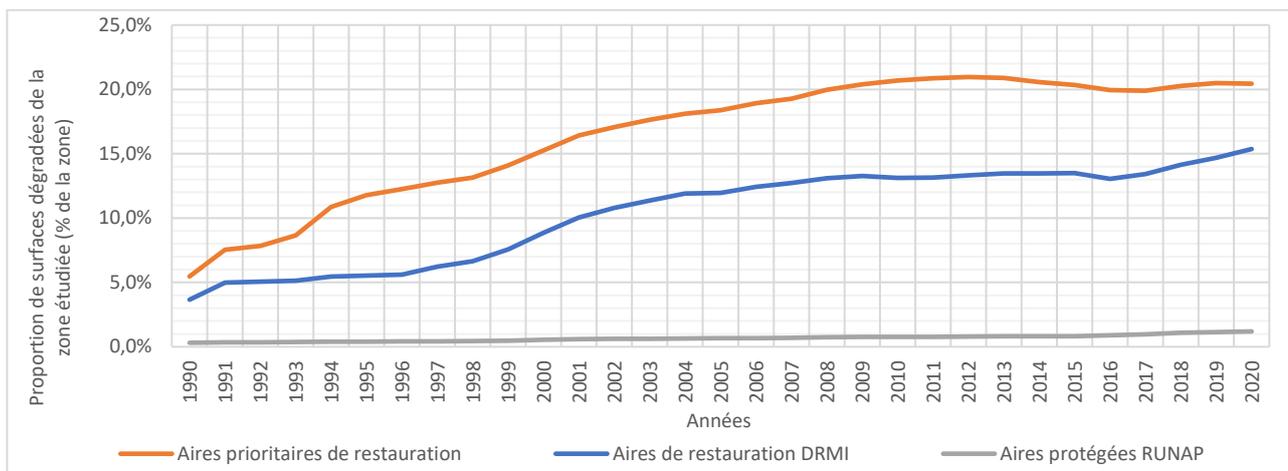
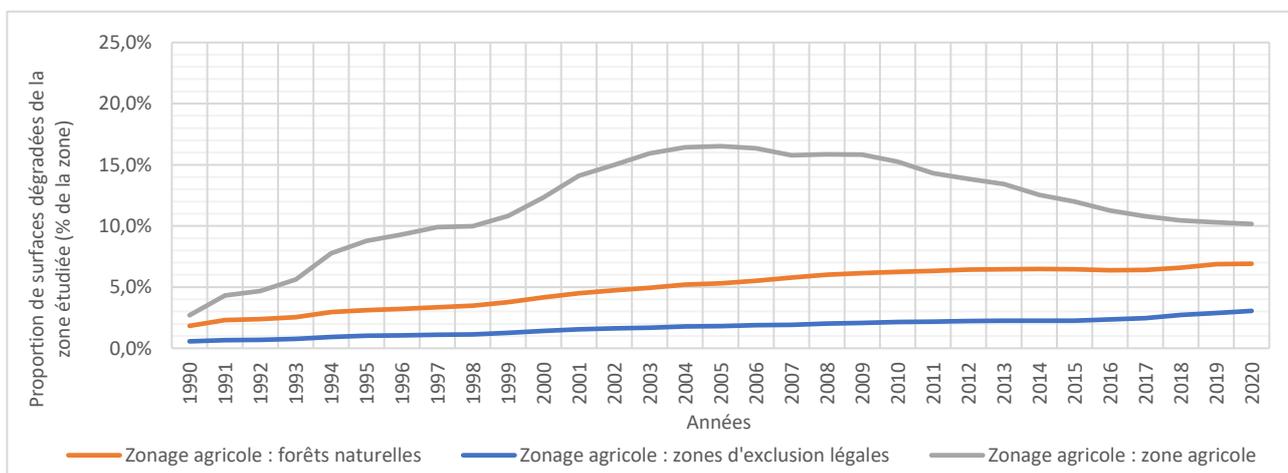


Figure 85 : Déforestation – Moyennes par décennie : comparaison des zones étudiées – Guaviare

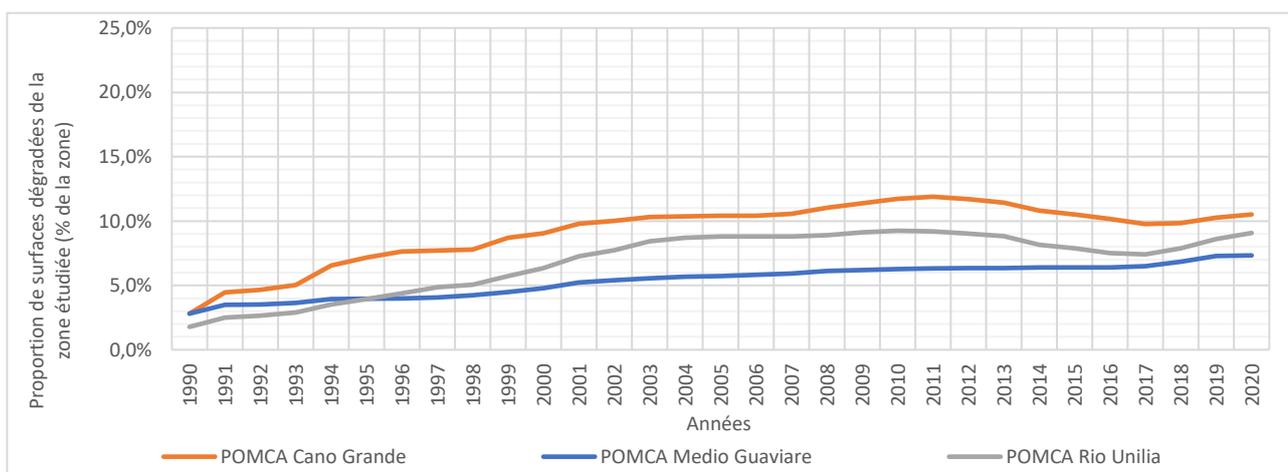
Processus de dégradation : synthèse par type de zones



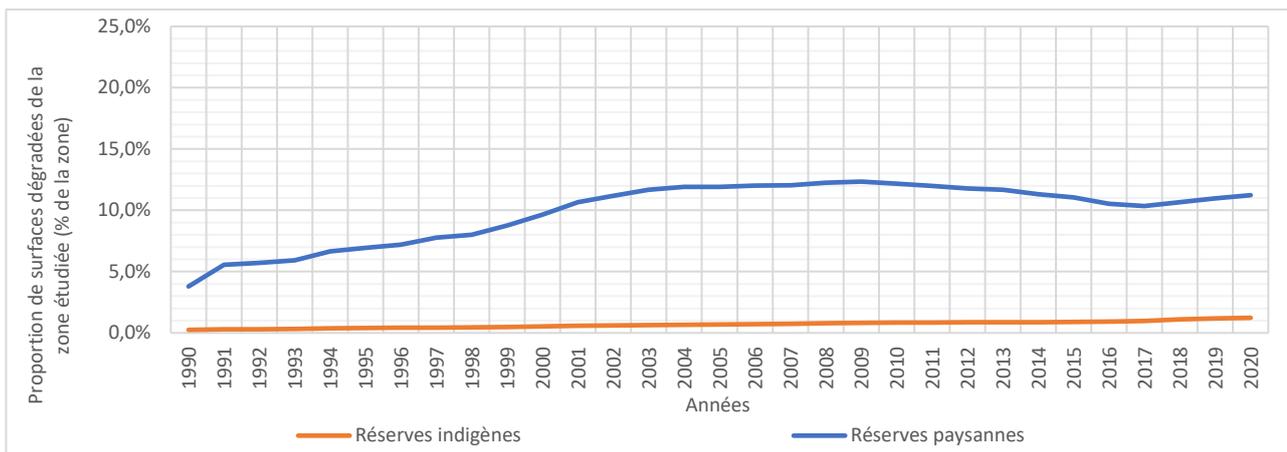
A



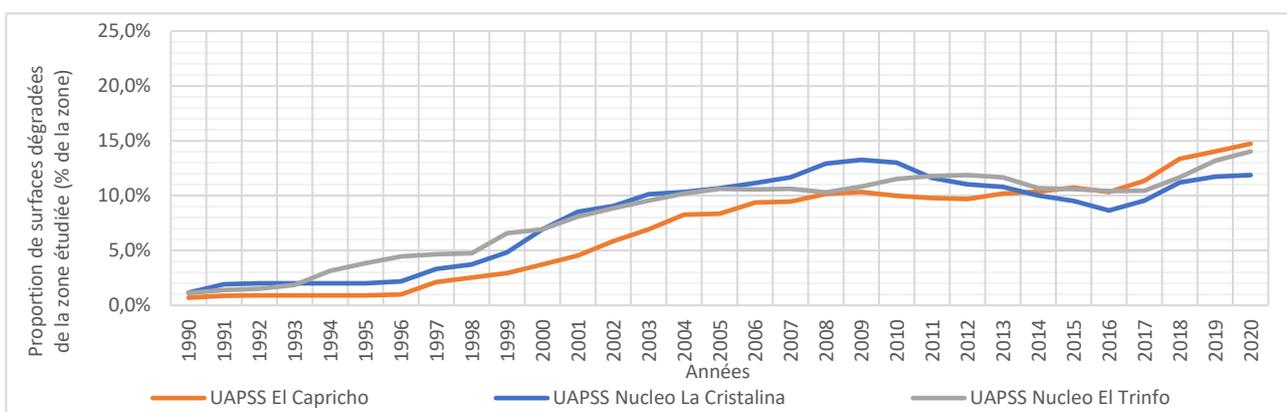
B



C



D



E

Figure 86 : Évolution de la dégradation à Guaviare : aires de restauration et aires protégées (A), zonage agricole (B), POMCA (C), réserves (D), UAPSS (E)

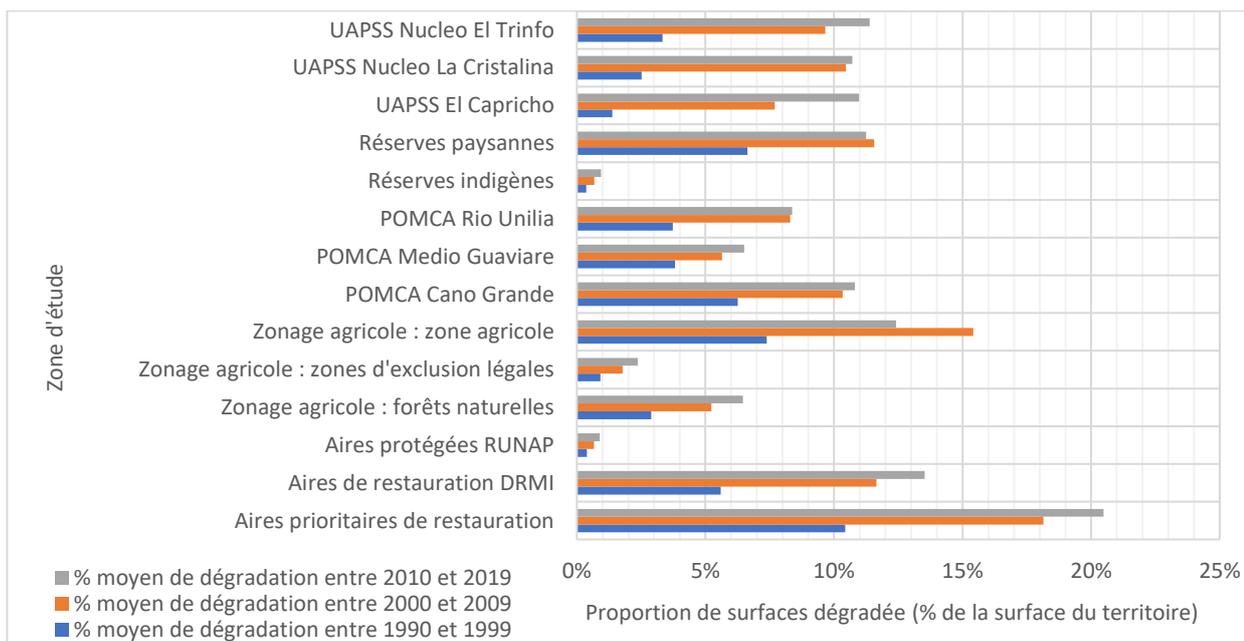
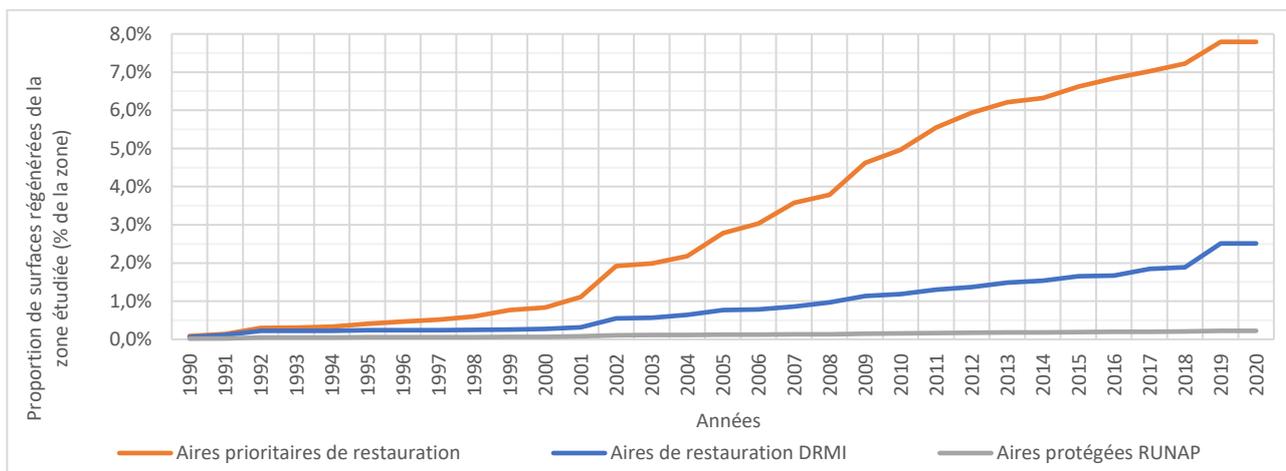
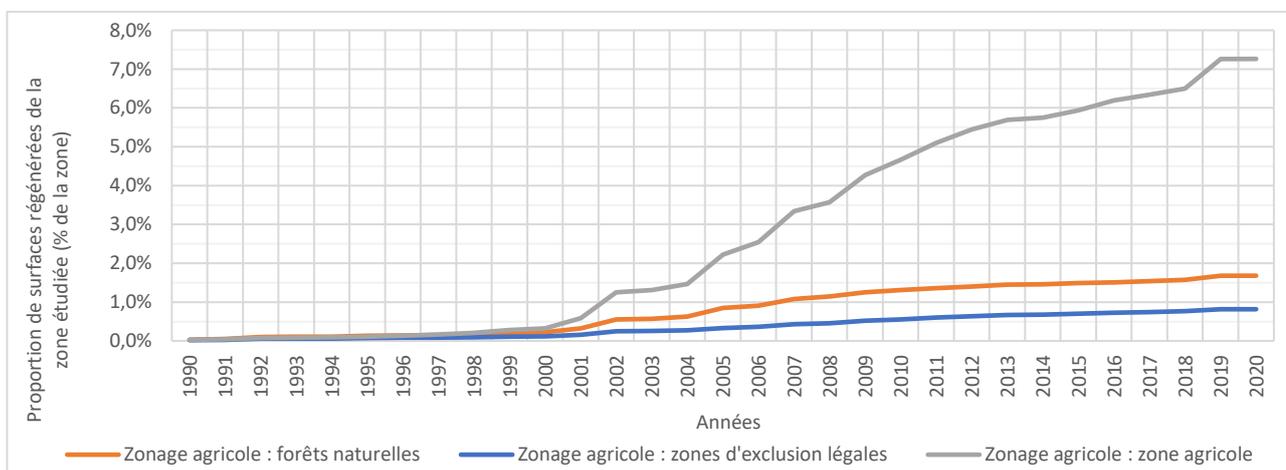


Figure 87 : Dégradation – Moyennes par décennie : comparaison des zones étudiées – Guaviare

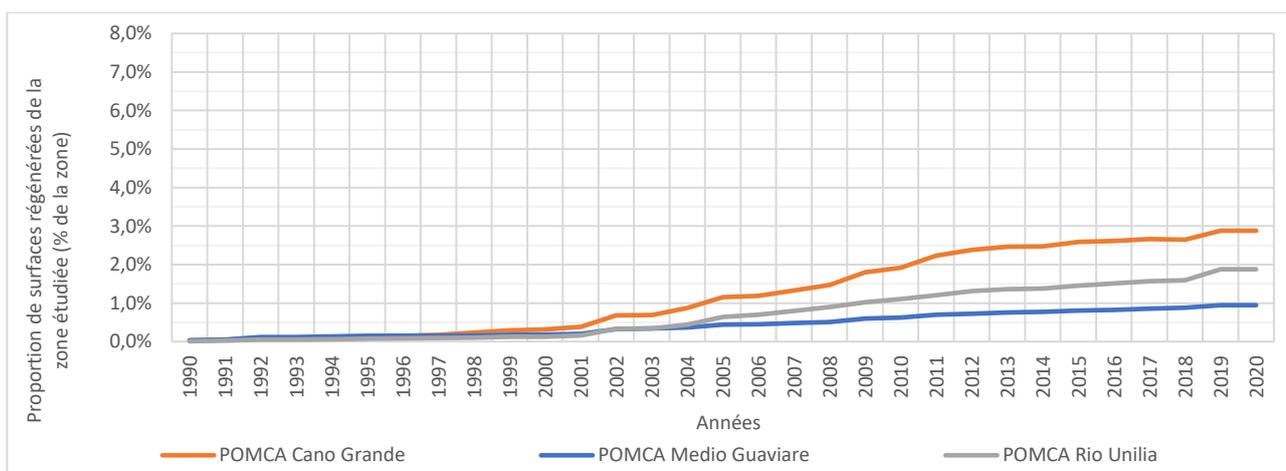
## Processus de régénération : synthèse par type de zones



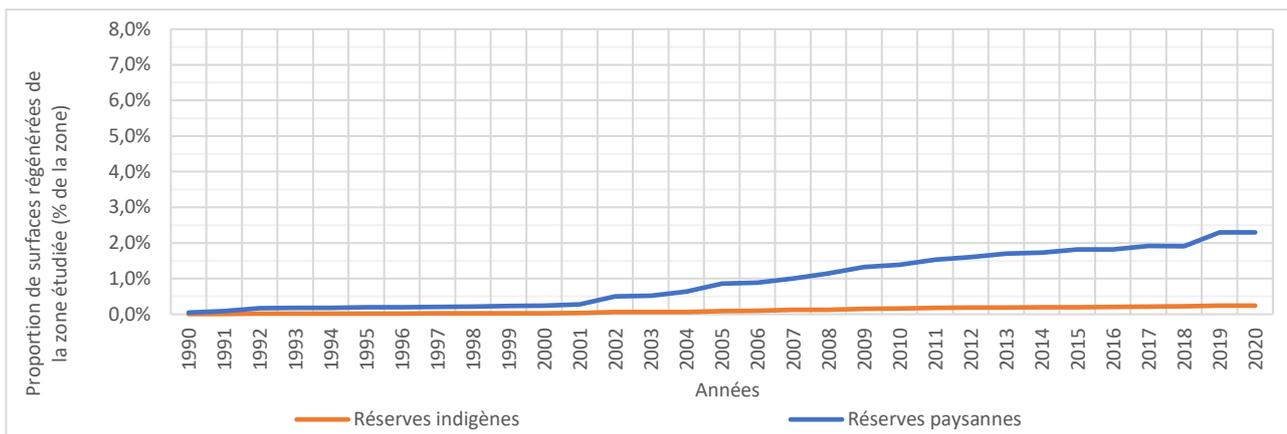
### A



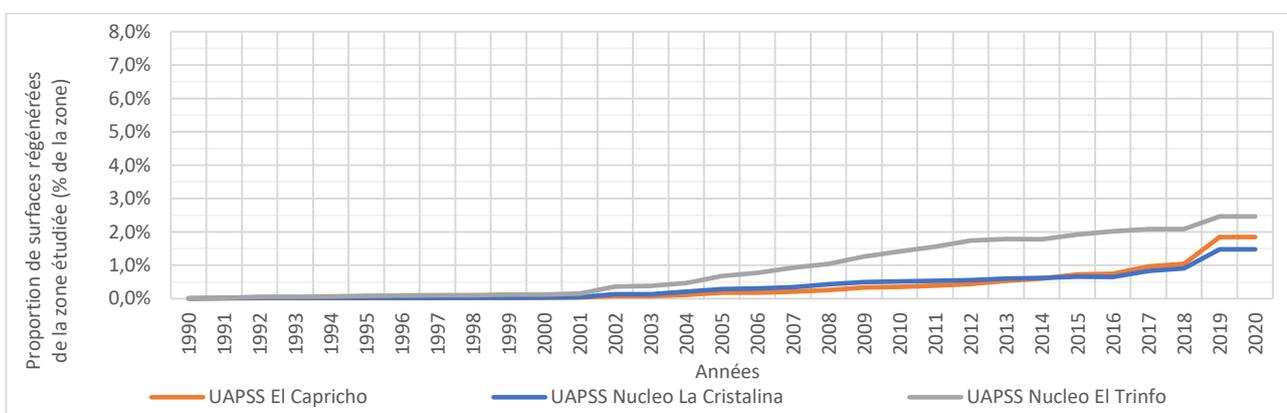
### B



### C



D



E

Figure 88 : Évolution de la régénération à Guaviare : aires de restauration et aires protégées (A), zonage agricole (B), POMCA (C), réserves (D), UAPSS (E)

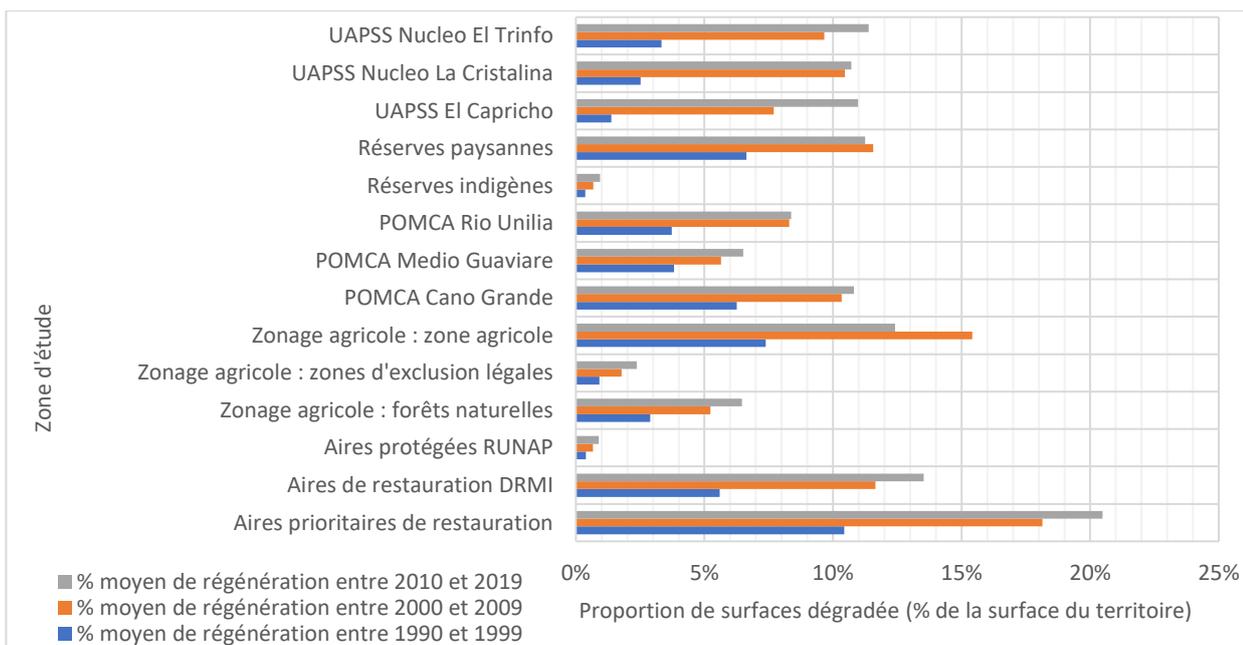


Figure 89 : Régénération – Moyennes par décennie : comparaison des zones étudiées – Guaviare

## Annexe 28 : Création de patches et de zones tampons – Madre de Dios et Guaviare

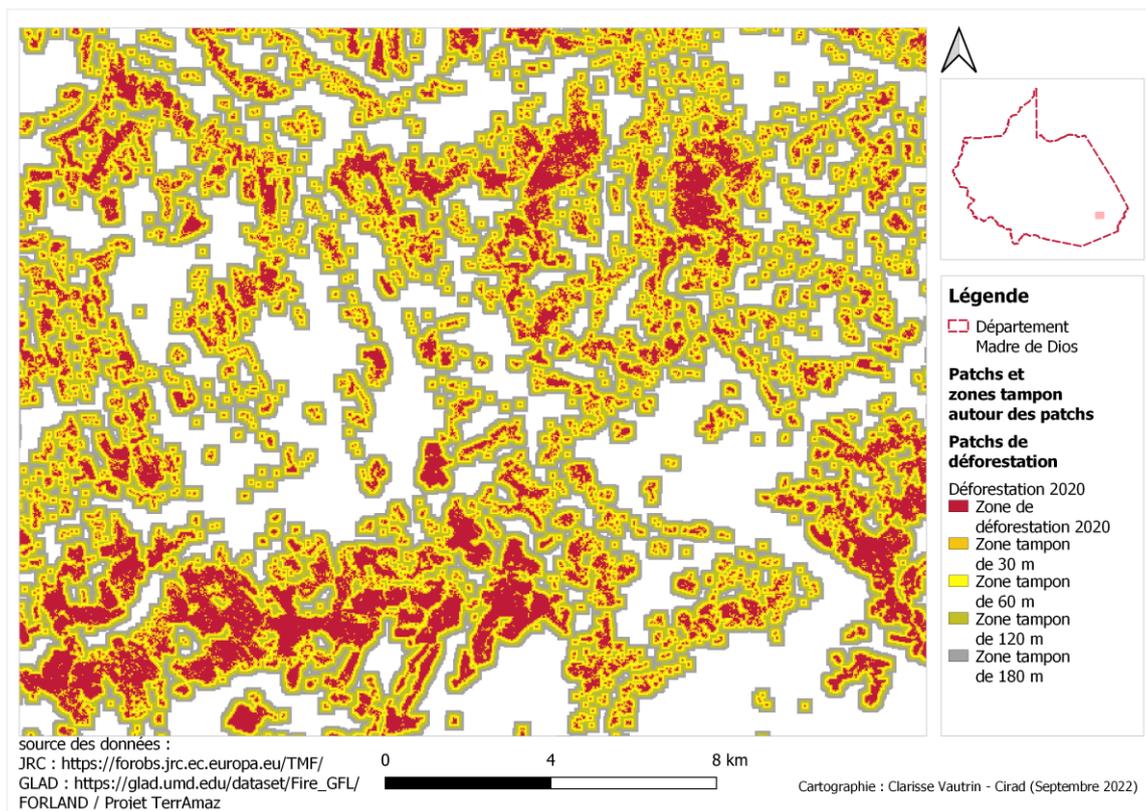


Figure 90 : Patches de déforestation et zones tampons – Madre de Dios



Figure 91 : Patches de dégradation et zones tampons – Madre de Dios

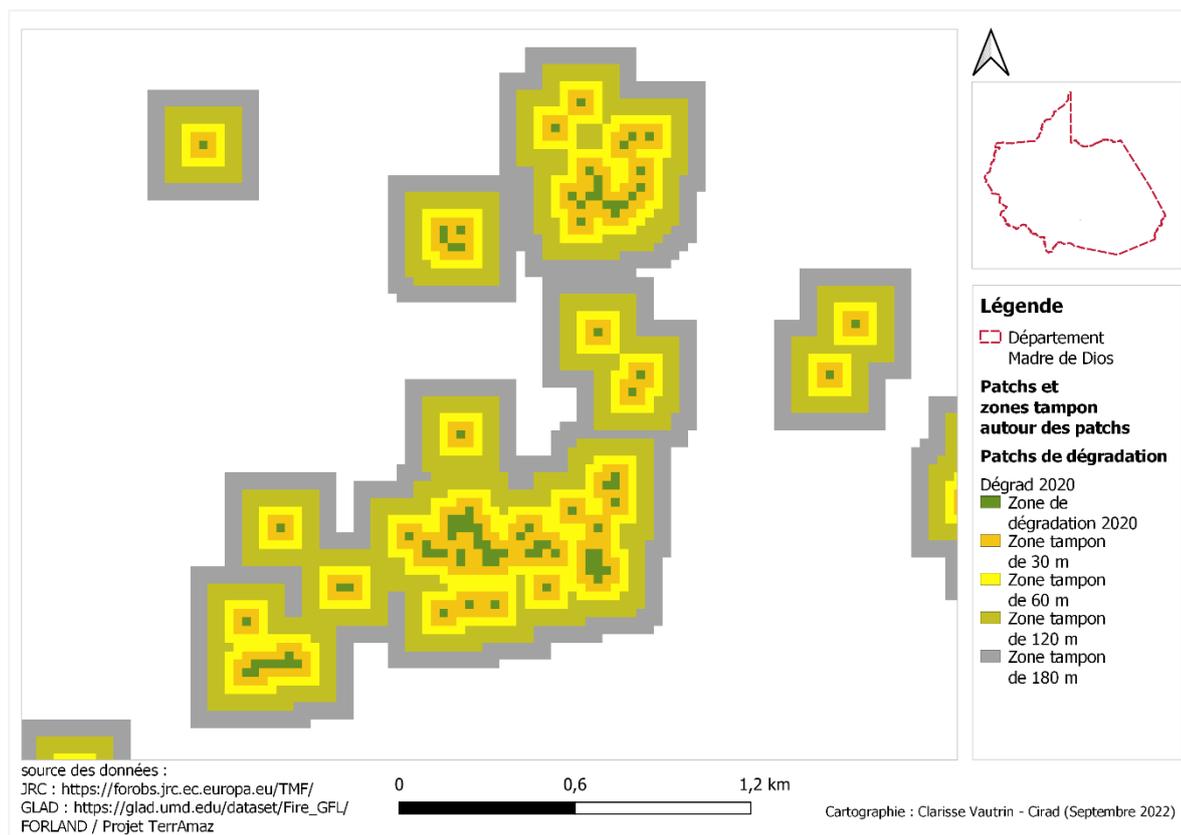


Figure 92 : Zoom sur les patches de dégradation et zones tampons – Madre de Dios

Madre de Dios							
Nombre de patches							
	Patch	Buffer 30 m	Buffer 60 m	Buffer 90 m	Buffer 120 m	Buffer 180 m	Buffer 240 m
Zone de dégradation 2018	429 761	142 848	77 795	47 483	30 691	13 611	6 551
Zone de dégradation 2000	270 034	112 848	67 498	44 968	31 354	16 708	9 471
Zone de déforestation 2018	110 705	42 641	25 855	17 898	13 257	8 546	6 047
Zone de déforestation 2000	90 627	39 915	23 280	15 078	10 709	6 640	4 577
Surface totale de la zone (km <sup>2</sup> )							
	Patch	Buffer 30 m	Buffer 60 m	Buffer 90 m	Buffer 120 m	Buffer 180 m	Buffer 240 m
Zone de dégradation 2018	2 410	5 439	4 924	4 426	3 983	6 763	5 355
Zone de dégradation 2000	1 085	2 954	3 114	3 080	2 981	5 539	4 884
Zone de déforestation 2018	1 765	1 954	1 709	1 600	1 521	2 852	2 645
Zone de déforestation 2000	455	1 059	1 155	1 169	1 141	2 155	1 993
Surface moyenne d'un patch (km <sup>2</sup> )							

	Patch	Buffer 30 m	Buffer 60 m	Buffer 90 m	Buffer 120 m	Buffer 180 m	Buffer 240 m
Zone de dégradation 2018	0,01	0,04	0,06	0,09	0,13	0,50	0,82
Zone de dégradation 2000	0,00	0,03	0,05	0,07	0,10	0,33	0,52
Zone de déforestation 2018	0,02	0,05	0,07	0,09	0,11	0,33	0,44
Zone de déforestation 2000	0,01	0,03	0,05	0,08	0,11	0,32	0,44

Tableau 12 : Nombre et surfaces de patchs de déforestation et de dégradation pour les deux années cibles (2000 et 2018) – Madre de Dios

<b>Guaviare</b>							
<b>Nombre de patchs</b>							
	Patch	Buffer 30 m	Buffer 60 m	Buffer 90 m	Buffer 120 m	Buffer 180 m	Buffer 240 m
Zone de dégradation 2018	383 217	136 234	81 492	55 908	39 904	21 187	11 477
Zone de dégradation 2000	255 608	72 169	35 743	24 238	18 204	11 317	7 621
Zone de déforestation 2018	73 446	27 553	15 173	9 828	7 028	4 192	2 858
Zone de déforestation 2000	96 571	41 457	21 856	12 765	8 222	4 329	2 737
<b>Surface totale de la zone (km<sup>2</sup>)</b>							
	Patch	Buffer 30 m	Buffer 60 m	Buffer 90 m	Buffer 120 m	Buffer 180 m	Buffer 240 m
Zone de dégradation 2018	2 180	4 833	4 635	4 243	3 909	6 896	5 799
Zone de dégradation 2000	1 336	3 125	2 849	2 403	2 080	3 562	3 062
Zone de déforestation 2018	3 203	1 867	1 524	1 308	1 153	1 967	1 645
Zone de déforestation 2000	984	1 471	1 468	1 367	1 241	2 131	1 757
<b>Surface moyenne d'un patch (km<sup>2</sup>)</b>							
	Patch	Buffer 30 m	Buffer 60 m	Buffer 90 m	Buffer 120 m	Buffer 180 m	Buffer 240 m
Zone de dégradation 2018	0,01	0,04	0,06	0,08	0,10	0,33	0,51
Zone de dégradation 2000	0,01	0,04	0,08	0,10	0,11	0,31	0,40
Zone de déforestation 2018	0,04	0,07	0,10	0,13	0,16	0,47	0,58
Zone de déforestation 2000	0,01	0,04	0,07	0,11	0,15	0,49	0,64

Tableau 13 : Nombre et surfaces de patchs de déforestation et de dégradation pour les deux années cibles (2000 et 2018) – Guaviare

## Annexe 29 : Analyse spatiale des processus à partir des zones de patches – Madre de Dios et Guaviare

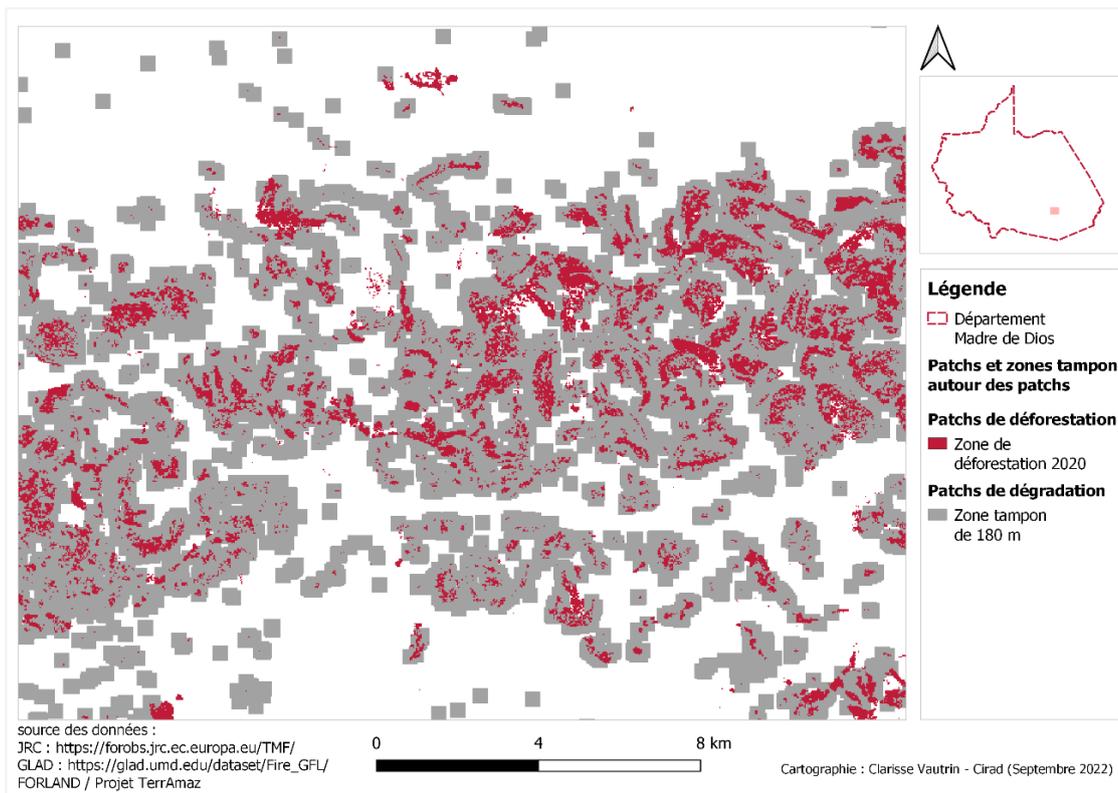


Figure 93 : Localisation de la déforestation par rapport à la zone tampon de 180 m autour de la dégradation de la même année – Madre de Dios

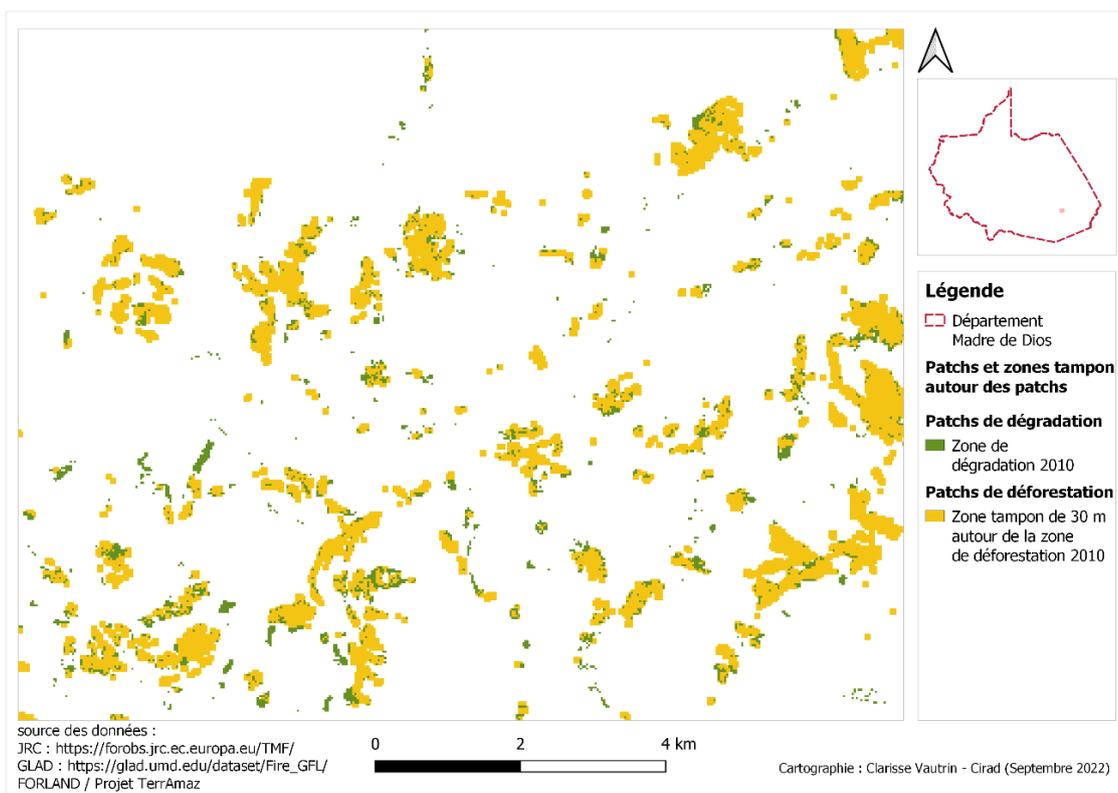


Figure 94 : Localisation de la dégradation par rapport à la zone tampon de 30 m autour de la déforestation de la même année – Madre de Dios

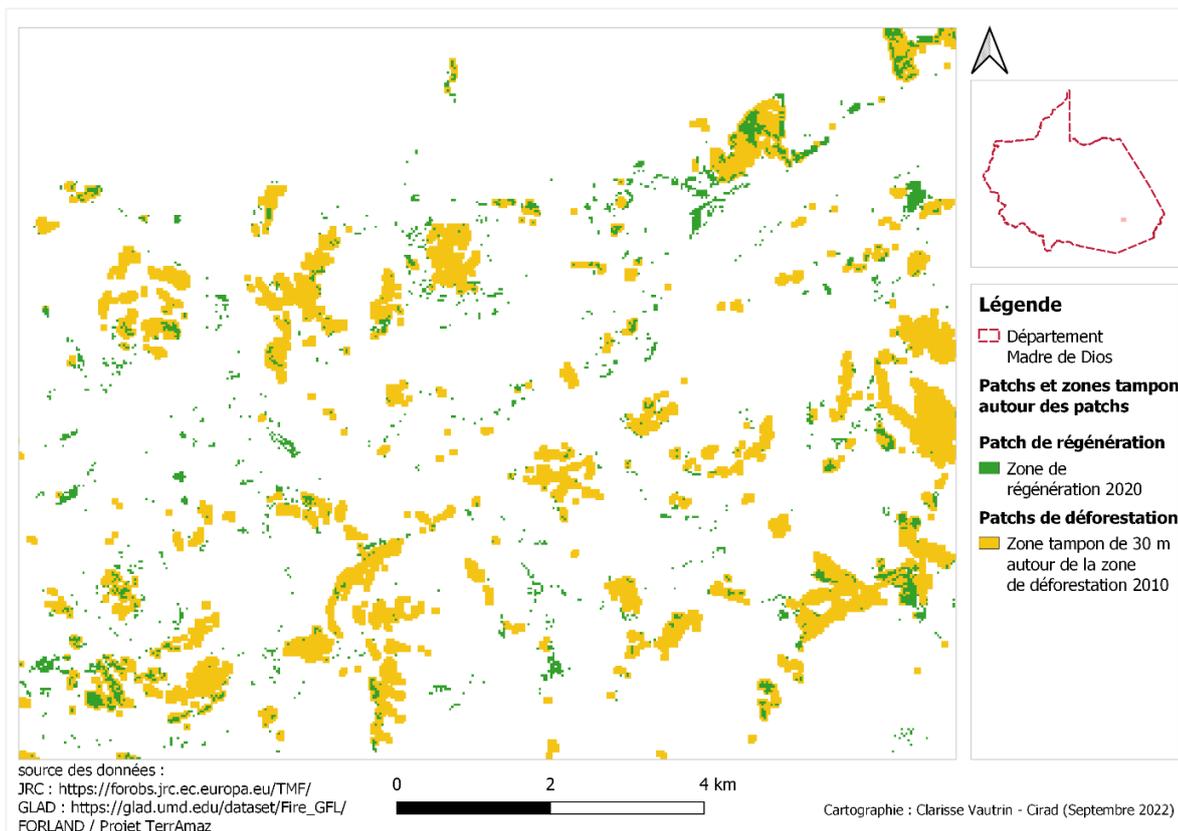


Figure 95 : Localisation de la régénération par rapport à la zone tampon de 30 m autour de la déforestation 10 années plus tôt – Madre de Dios

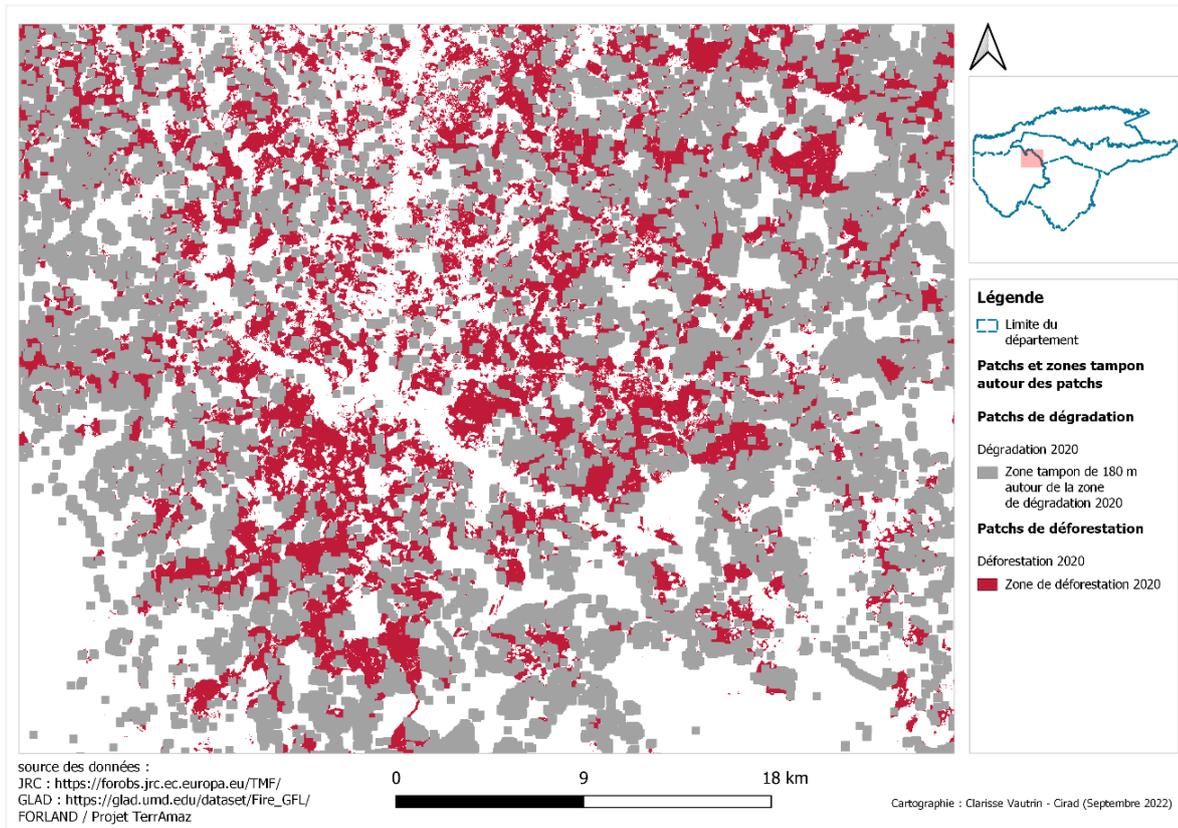


Figure 96 : Localisation de la déforestation par rapport à la zone tampon de 180 m autour de la dégradation de la même année – Guaviare

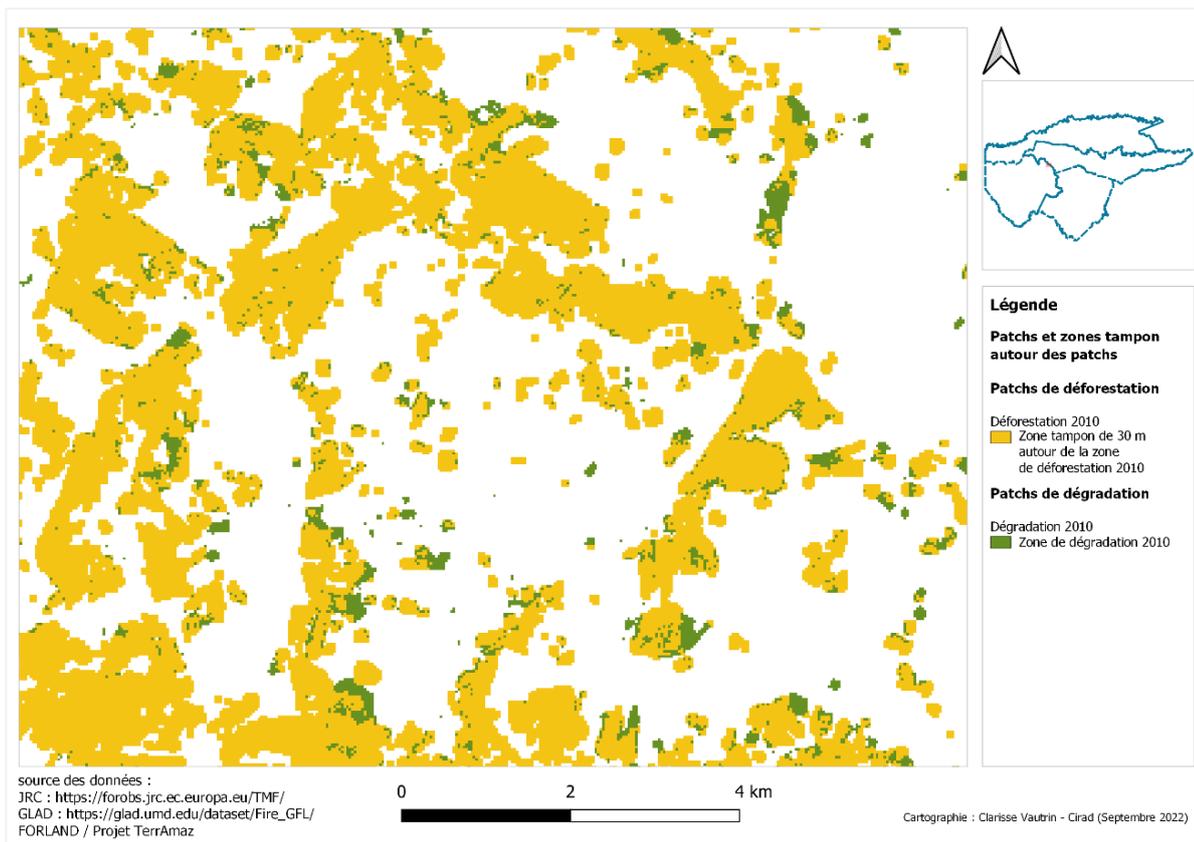


Figure 97 : Localisation de la dégradation par rapport à la zone tampon de 30 m autour de la déforestation de la même année – Guaviare

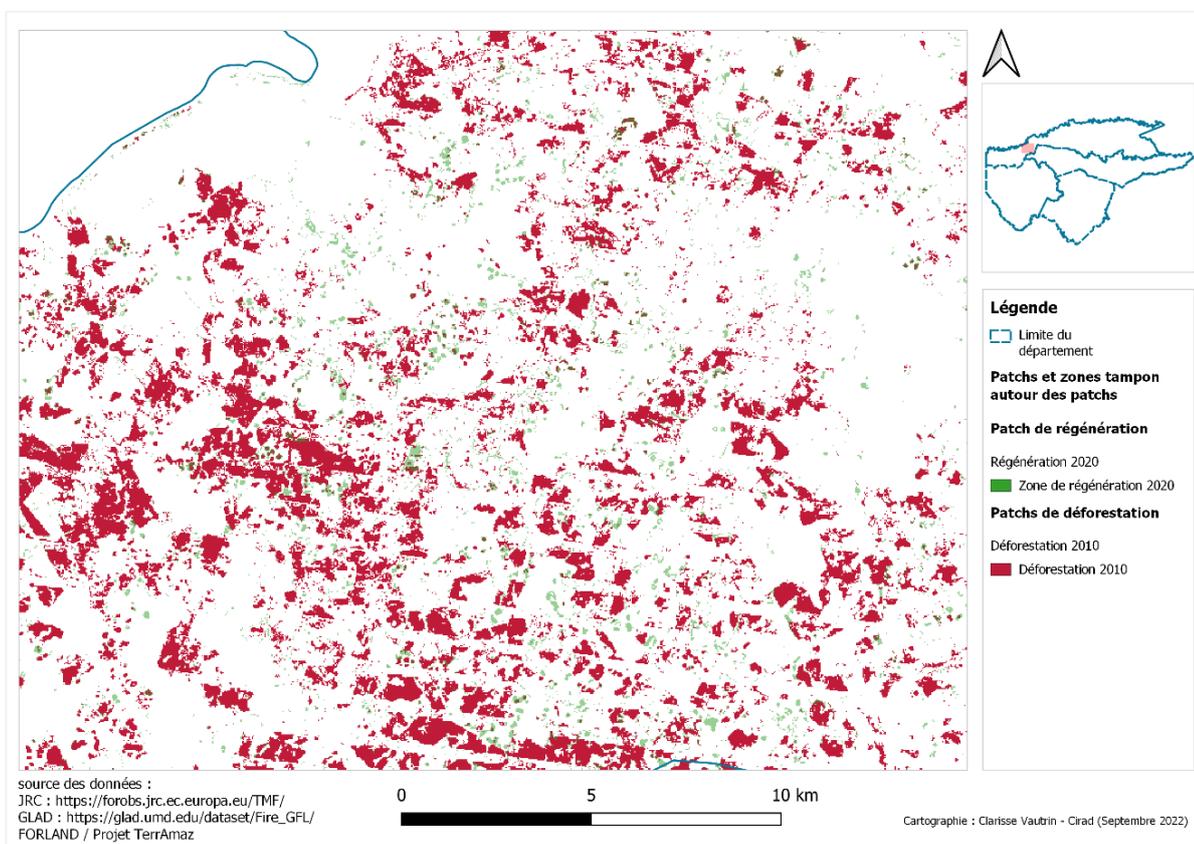


Figure 98 : Localisation de la régénération par rapport à la déforestation 10 années plus tôt – Madre de Dios

## Annexe 30 : Analyse temporelle des processus à partir des zones de patches – Madre de Dios et Guaviare

Pour Madre de Dios :

- Surfaces de déforestation (années : 2018 et 2000)
  - o Historique et évolution des trois processus dans les surfaces de déforestation de l'année cible

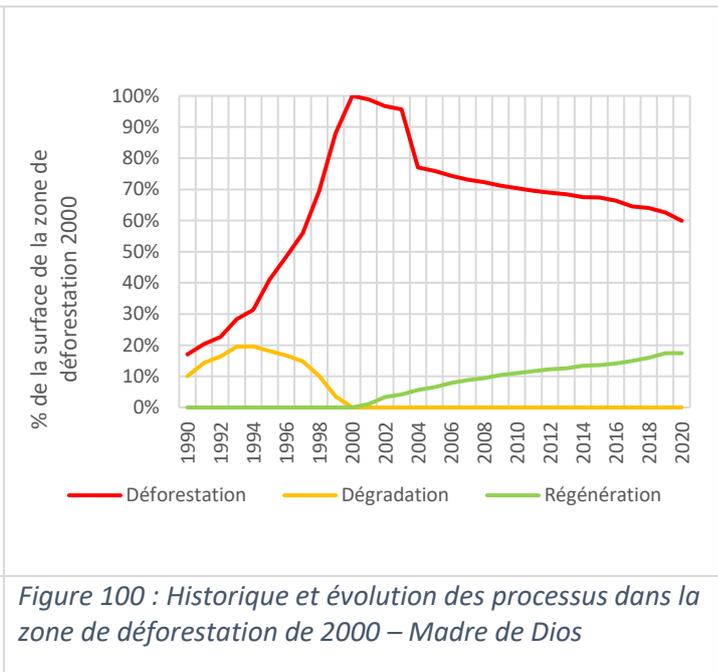
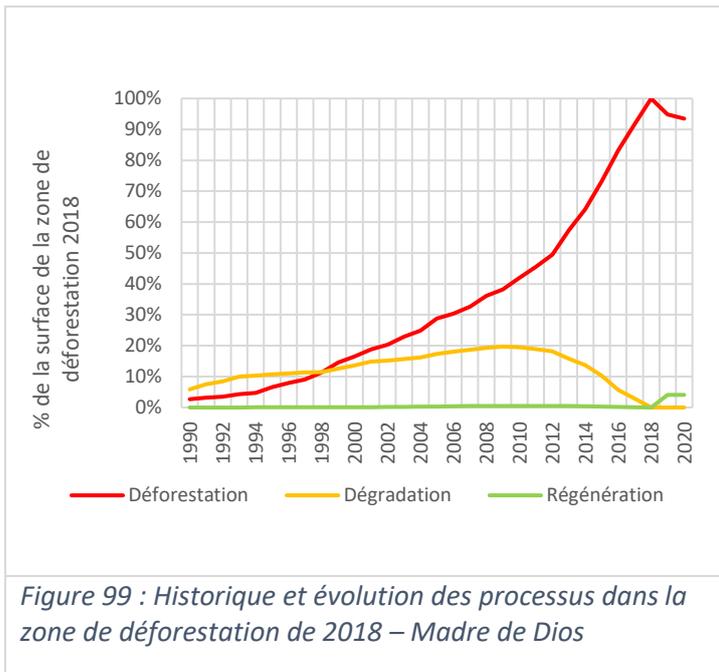


Figure 99 : Historique et évolution des processus dans la zone de déforestation de 2018 – Madre de Dios

Figure 100 : Historique et évolution des processus dans la zone de déforestation de 2000 – Madre de Dios

- Historique et évolution de chacun des processus avec leurs zones tampons, dans les surfaces de déforestation de l'année cible

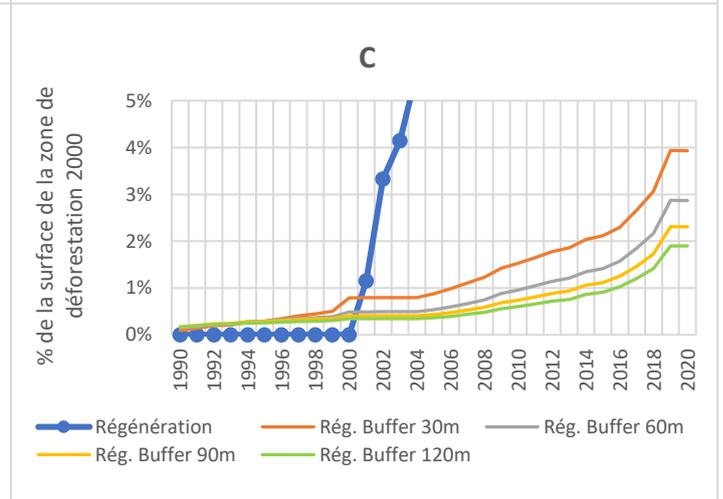
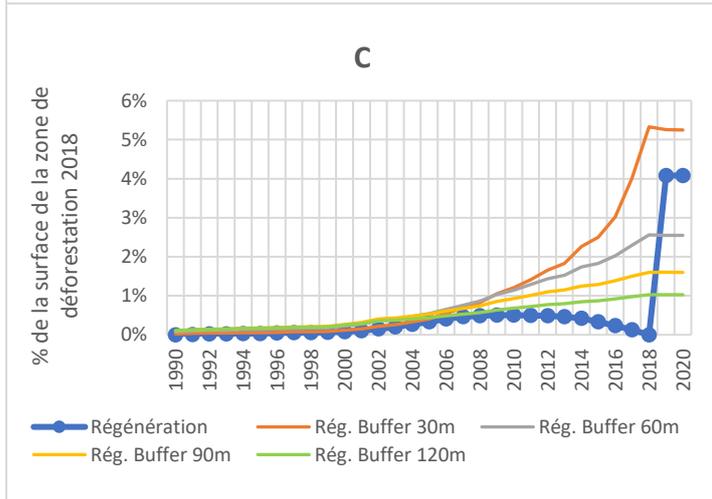
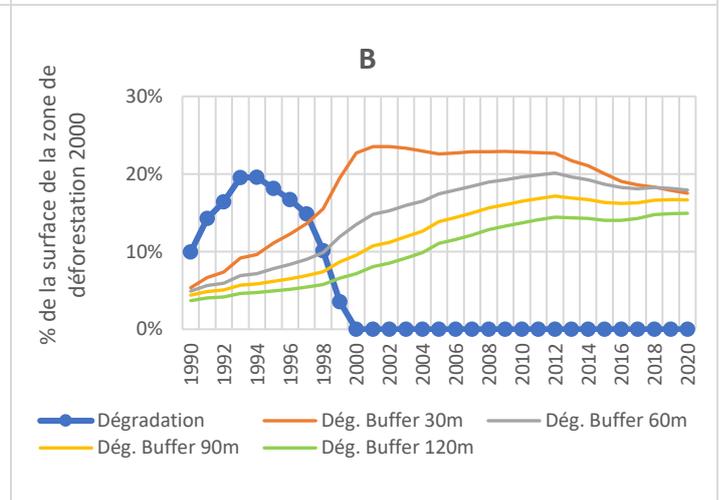
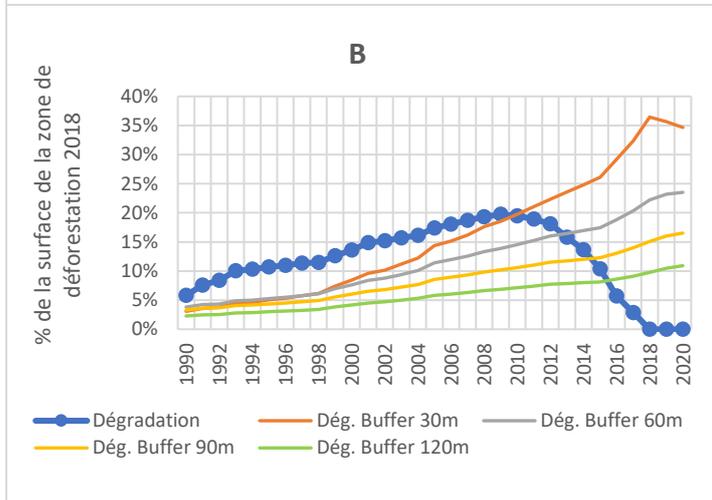
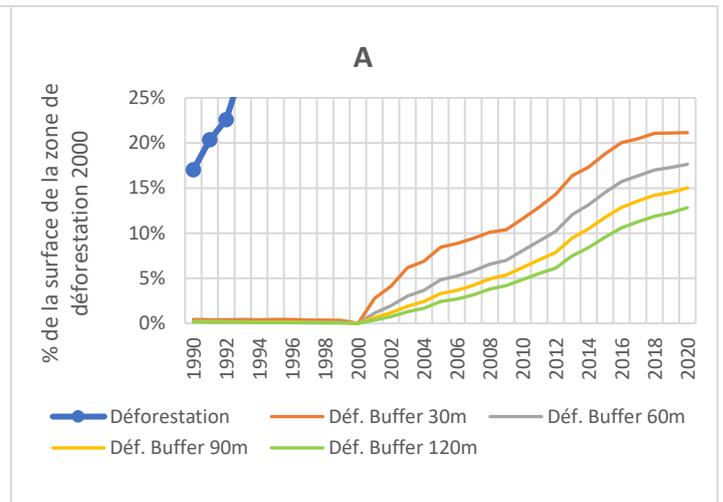
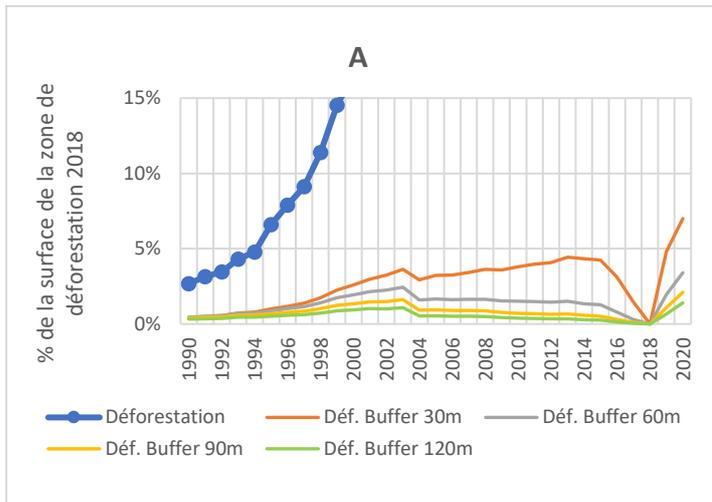


Figure 101 : Historique et évolution des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de déforestation de 2018 à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C)

Figure 102 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de déforestation de 2000 à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C)

- Surfaces de dégradation (années : 2018 et 2000)

- o Historique et évolution des trois processus dans les surfaces de dégradation de l'année cible

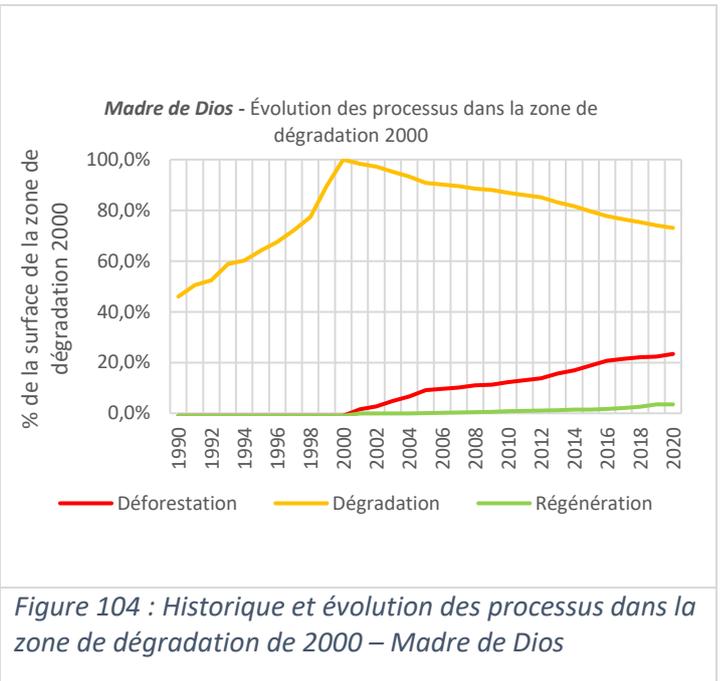
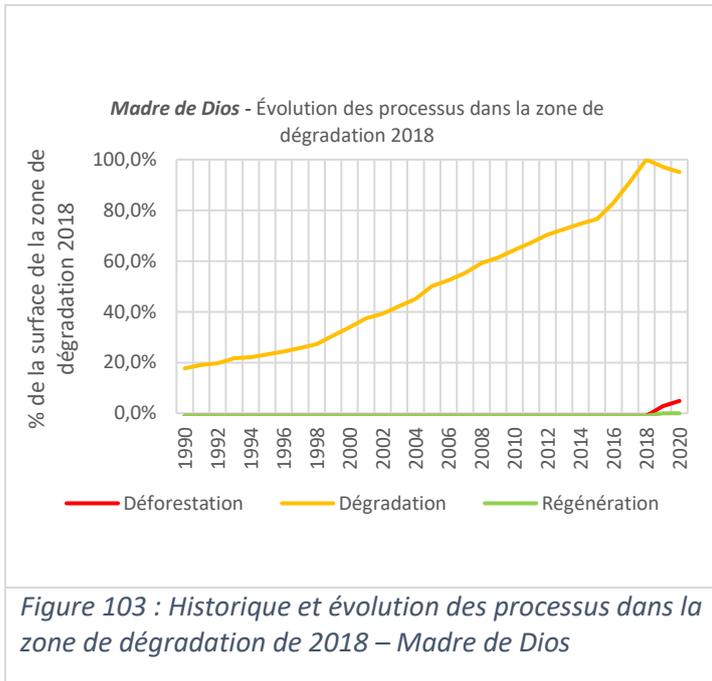


Figure 103 : Historique et évolution des processus dans la zone de dégradation de 2018 – Madre de Dios

Figure 104 : Historique et évolution des processus dans la zone de dégradation de 2000 – Madre de Dios

- Historique et évolution de chacun des processus avec leurs zones tampons, dans les surfaces de dégradation de l'année cible

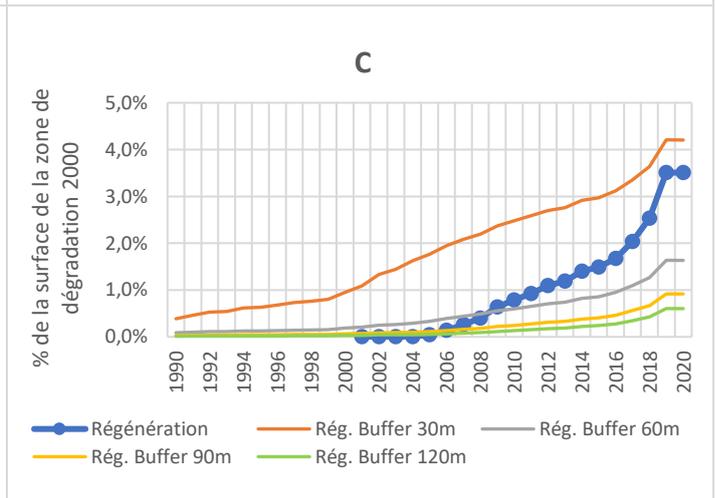
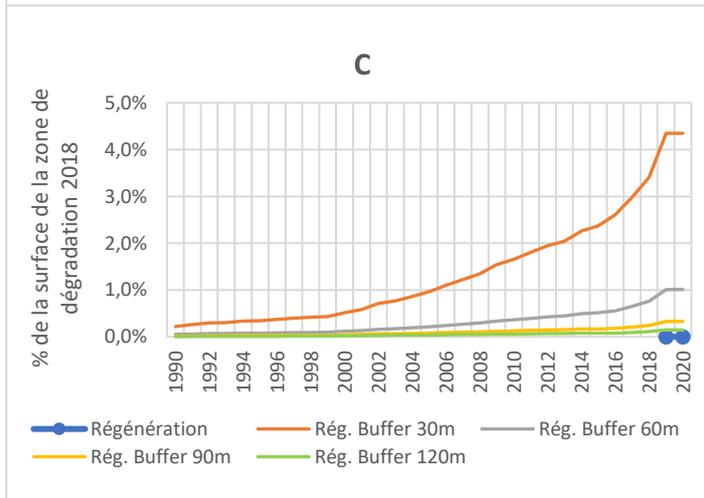
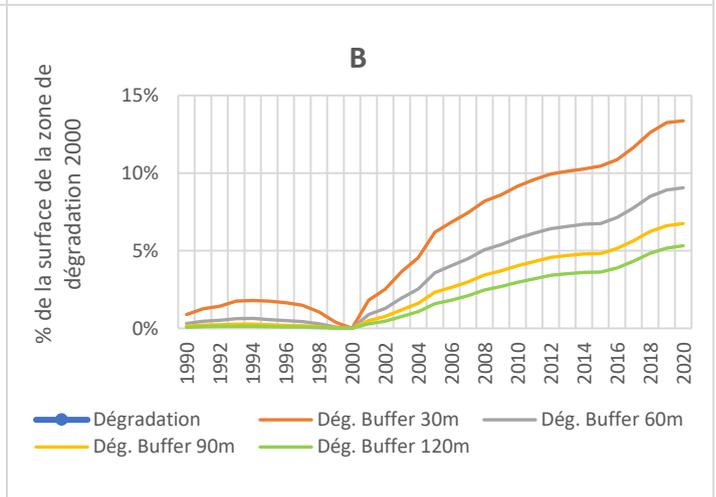
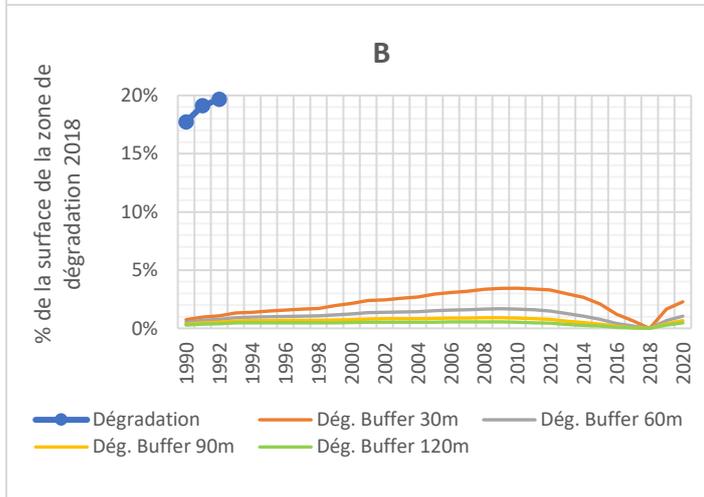
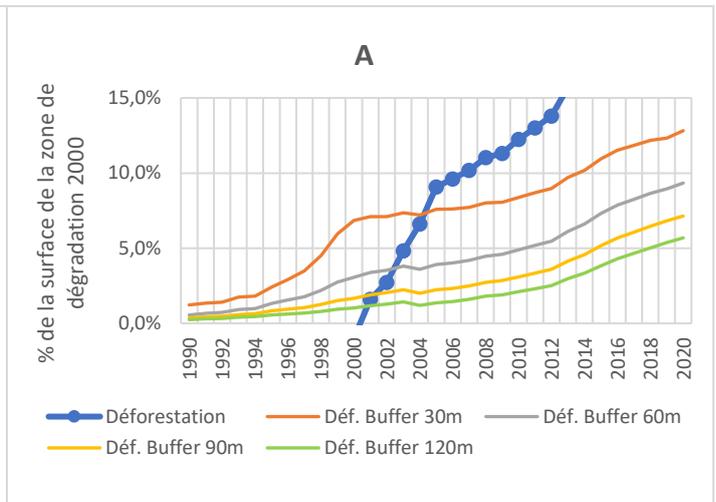
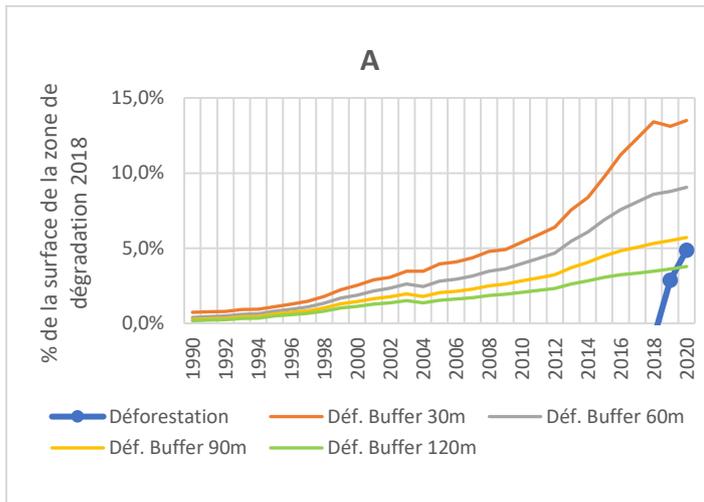


Figure 105 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de dégradation de 2018 à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C)

Figure 106 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de dégradation de 2000 à Madre de Dios : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C)

Pour Guaviare :

- Surfaces de déforestation (années : 2018 et 2000)

- Historique et évolution des trois processus dans les surfaces de déforestation de l'année cible

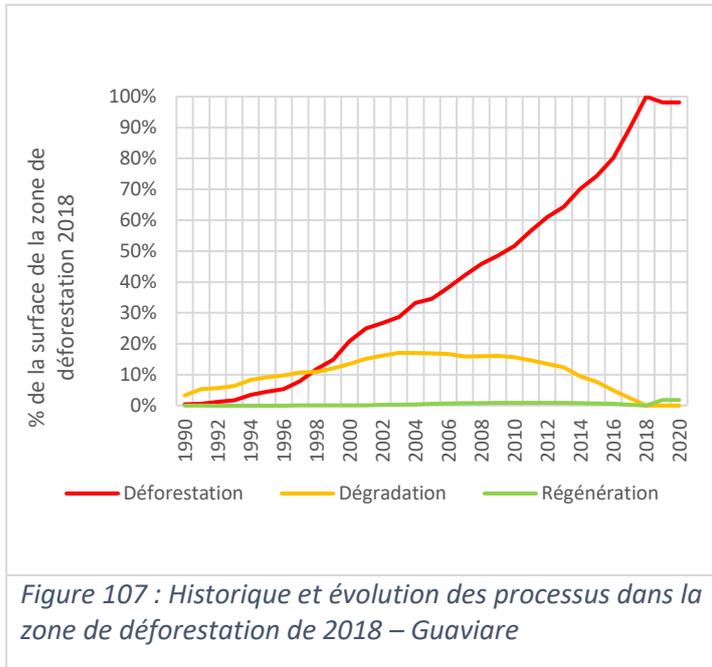


Figure 107 : Historique et évolution des processus dans la zone de déforestation de 2018 – Guaviare

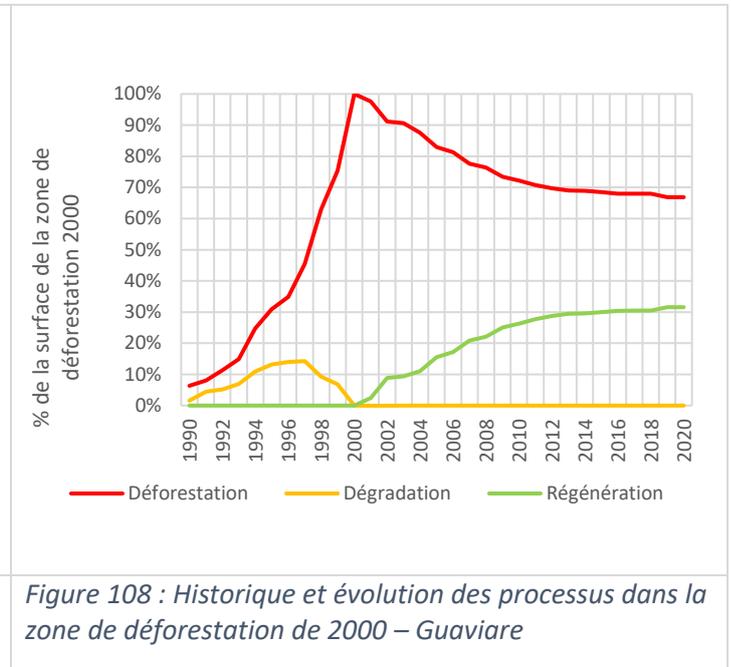


Figure 108 : Historique et évolution des processus dans la zone de déforestation de 2000 – Guaviare

- Historique et évolution de chacun des processus avec leurs zones tampons, dans les surfaces de déforestation de l'année cible

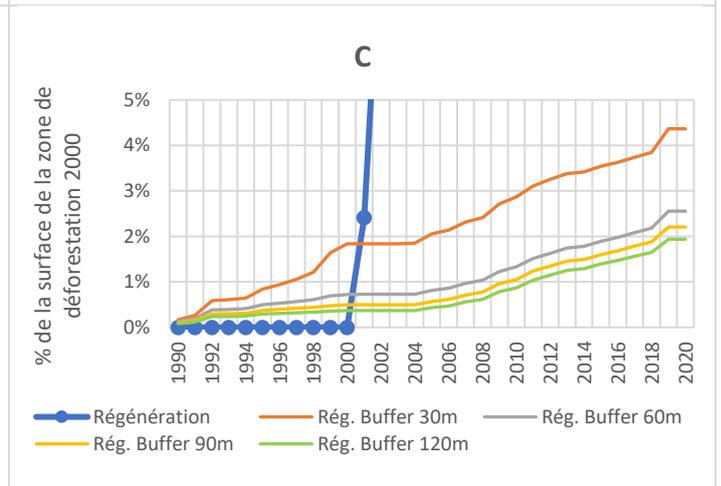
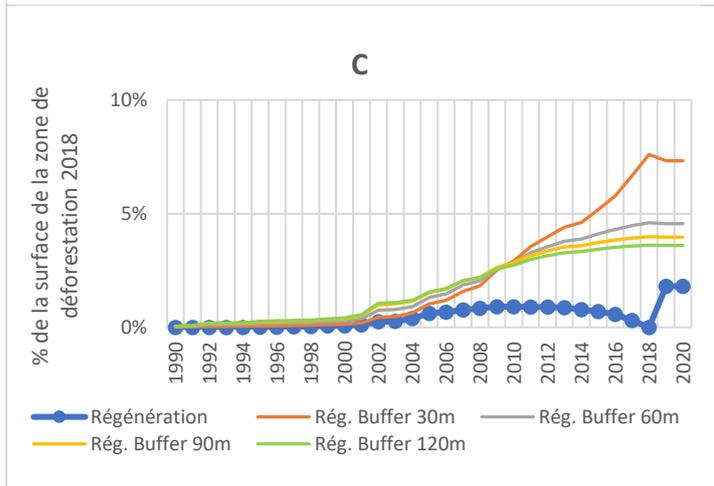
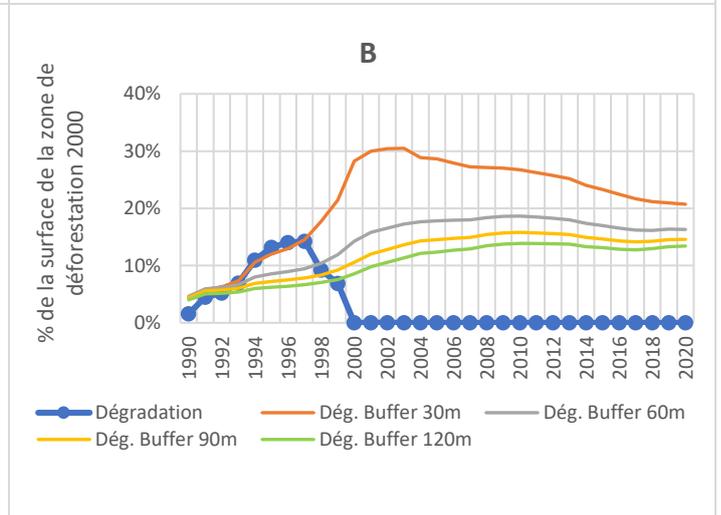
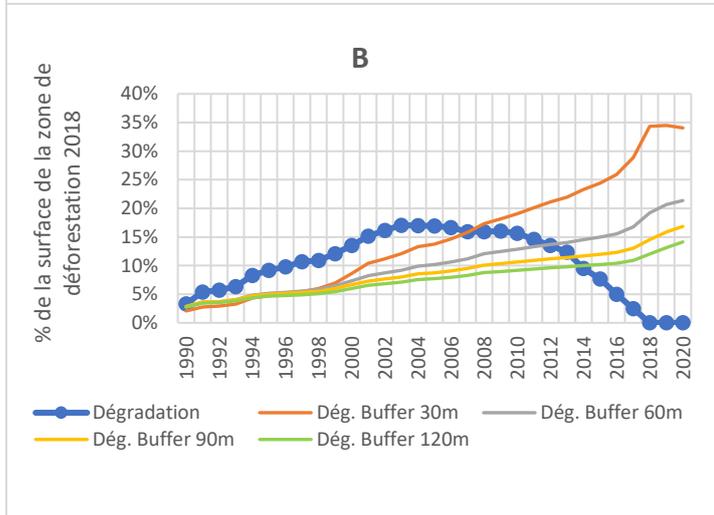
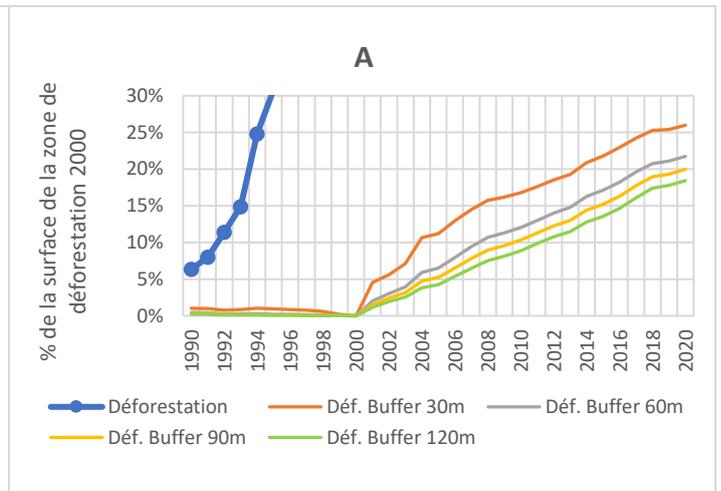
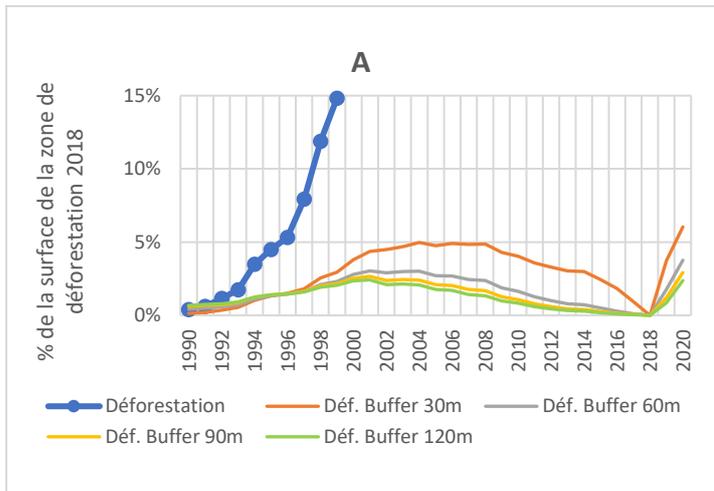


Figure 109 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de déforestation de 2018 à Guaviare : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C)

Figure 110 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de déforestation de 2000 à Guaviare : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C)

- Surfaces de dégradation (années : 2018 et 2000)

- Historique et évolution des trois processus dans les surfaces de dégradation de l'année cible

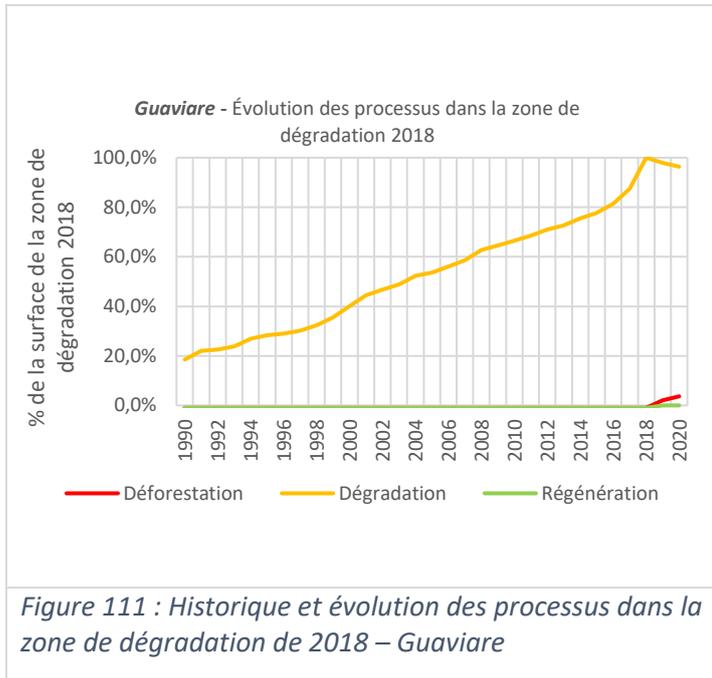


Figure 111 : Historique et évolution des processus dans la zone de dégradation de 2018 – Guaviare

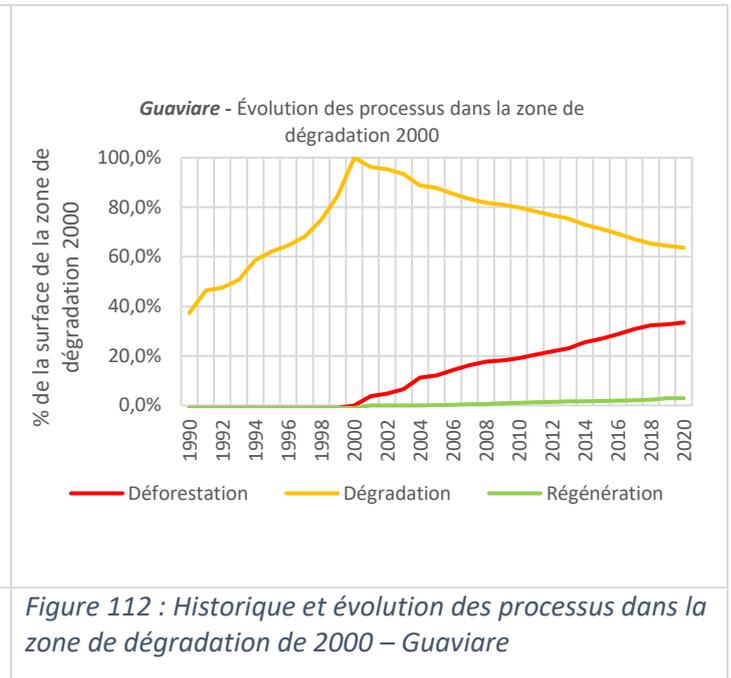


Figure 112 : Historique et évolution des processus dans la zone de dégradation de 2000 – Guaviare

- Historique et évolution de chacun des processus avec leurs zones tampons, dans les surfaces de dégradation de l'année cible

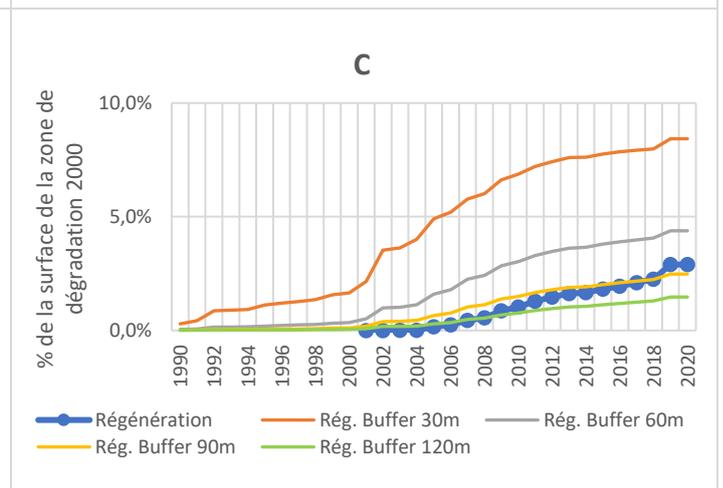
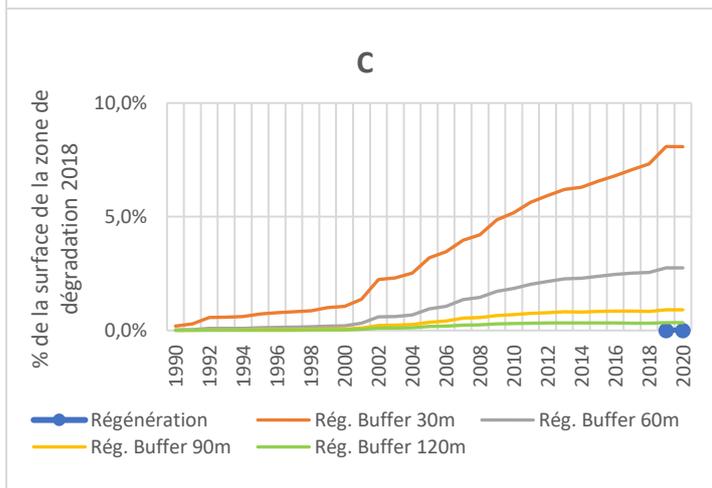
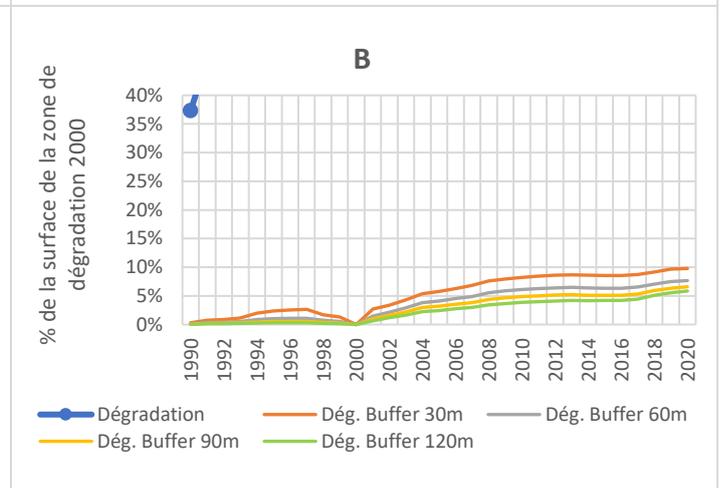
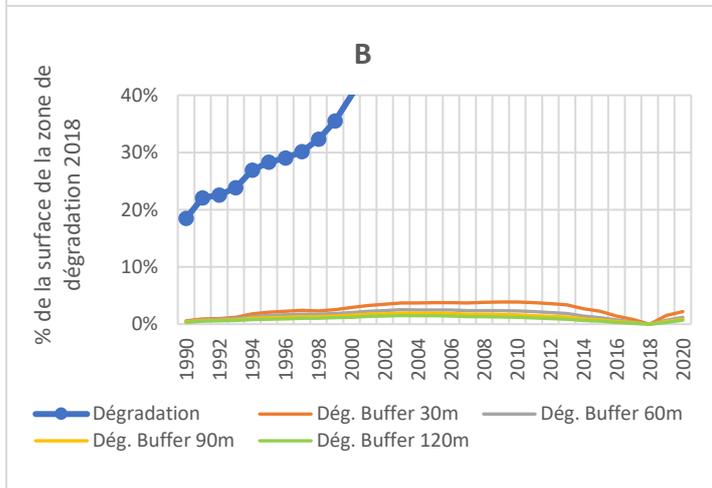
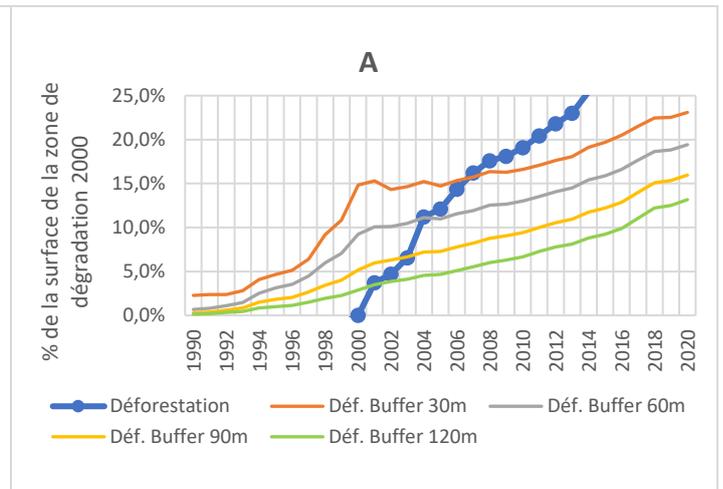
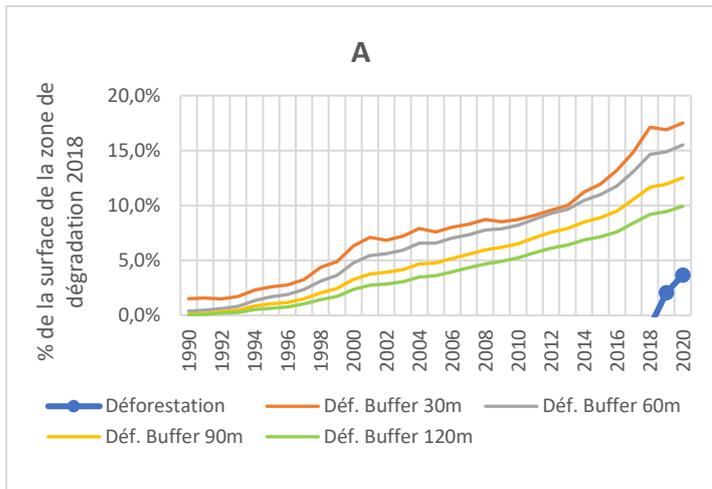
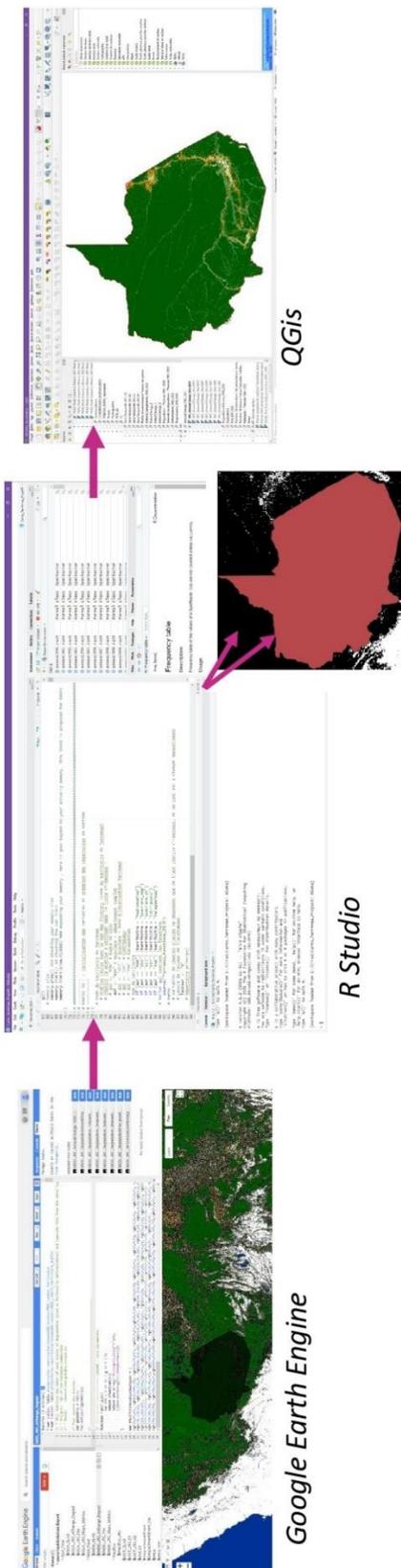


Figure 113 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de dégradation de 2018 à Guaviare : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C)

Figure 114 : Historique et évolution de chacun des trois processus et de leurs zones tampons dans la zone de dégradation de 2000 à Guaviare : déforestation (A), dégradation (B), régénération (C)

Annexe 31 : Méthodologie

Pré-traitements



Téléchargement (GEE) → Mosaïques, découpage (R) → Mise en page cartographiques et illustration (QGIS)

Figure 115 : Méthode de prétraitements

# Axe 1 : Dynamique spatio-temporelle

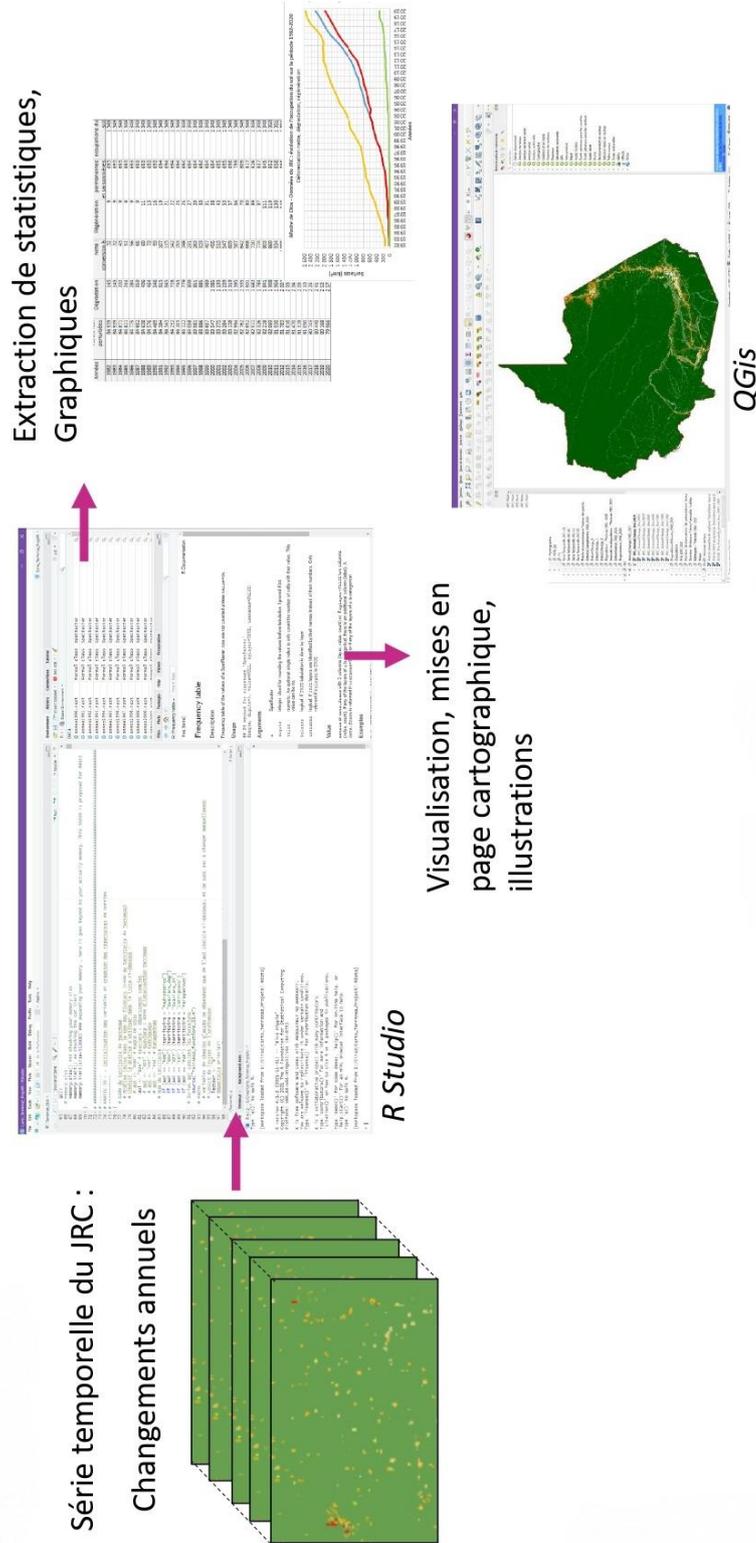


Figure 116 : Méthode axe 1 : graphiques et statistiques

# Axe 1 : Dynamique spatio-temporelle

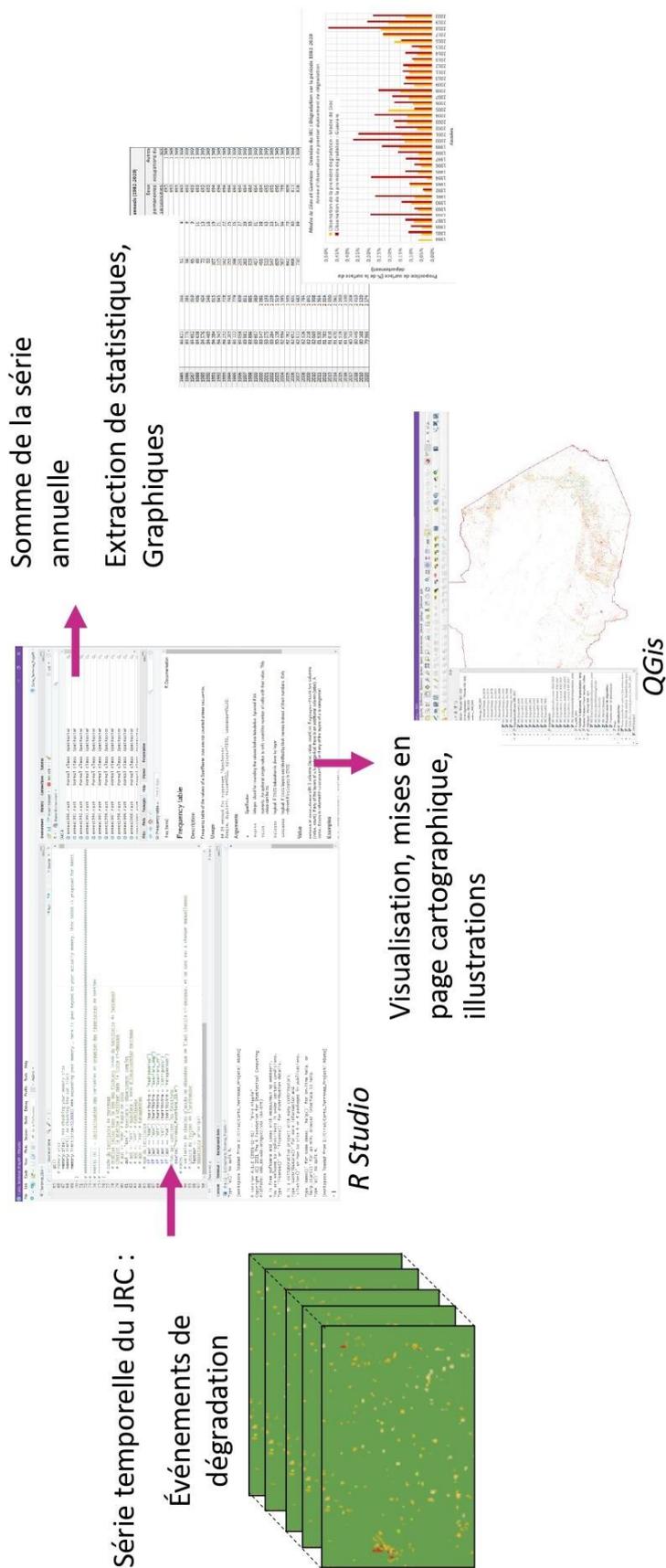


Figure 117 : Méthode axe 1 : série d'événements de dégradation

# Axe 2 : Relations entre les usages et les processus

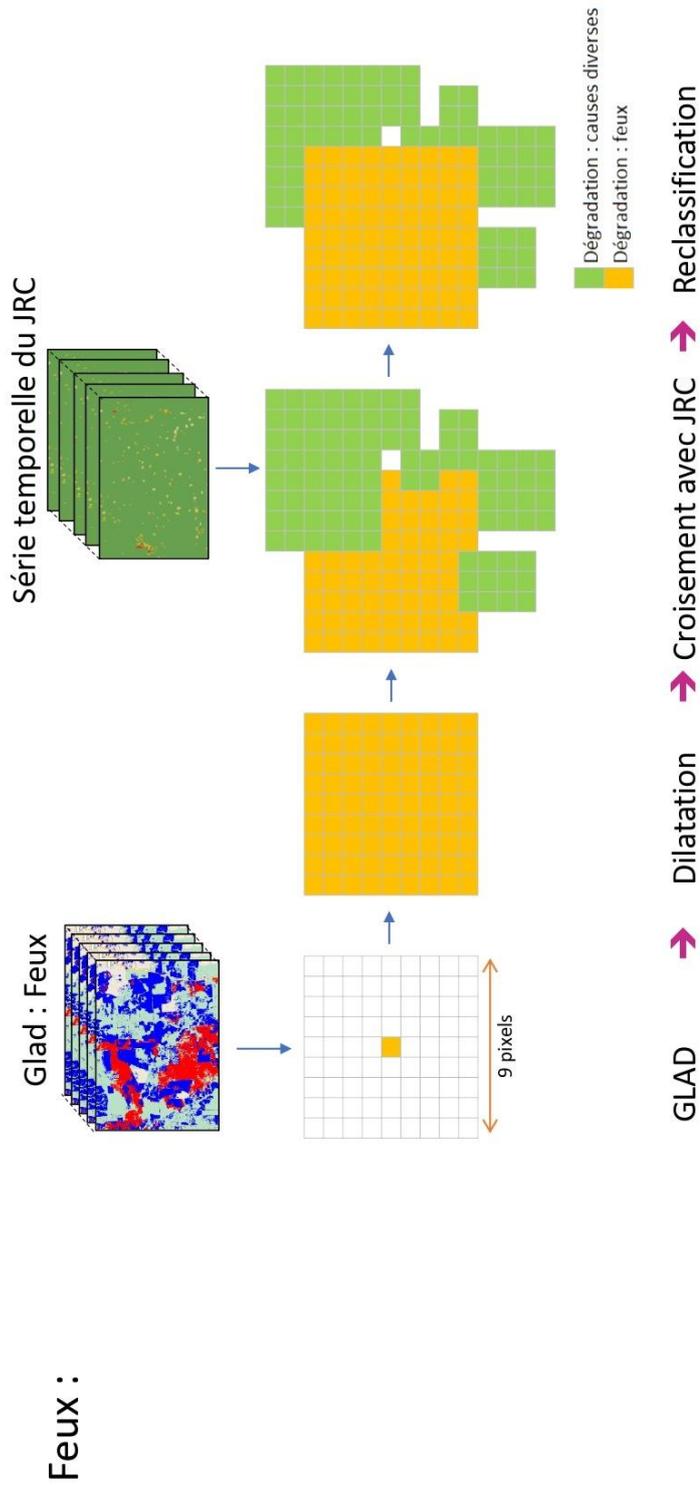


Figure 118 : Méthode axe 2 : feux



# Axe 3 : Relations entre les processus

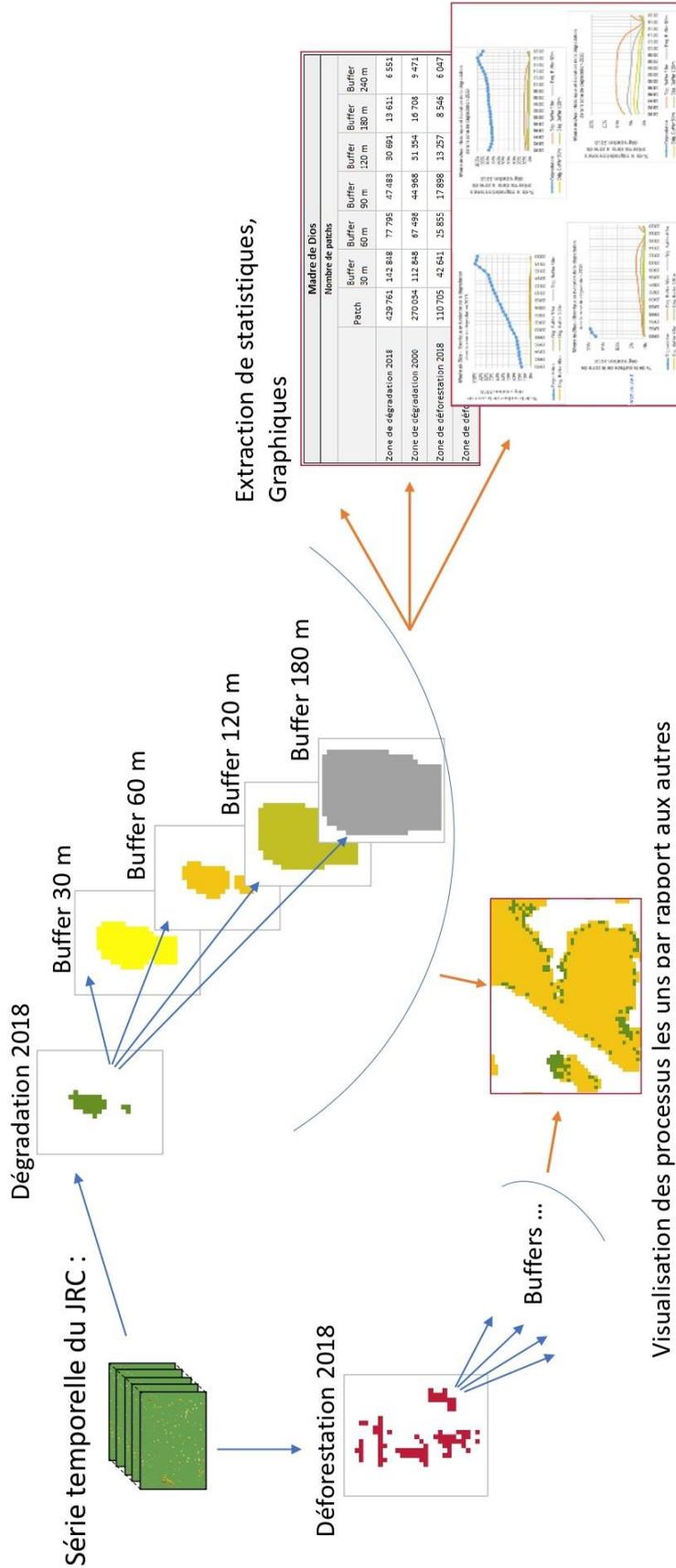
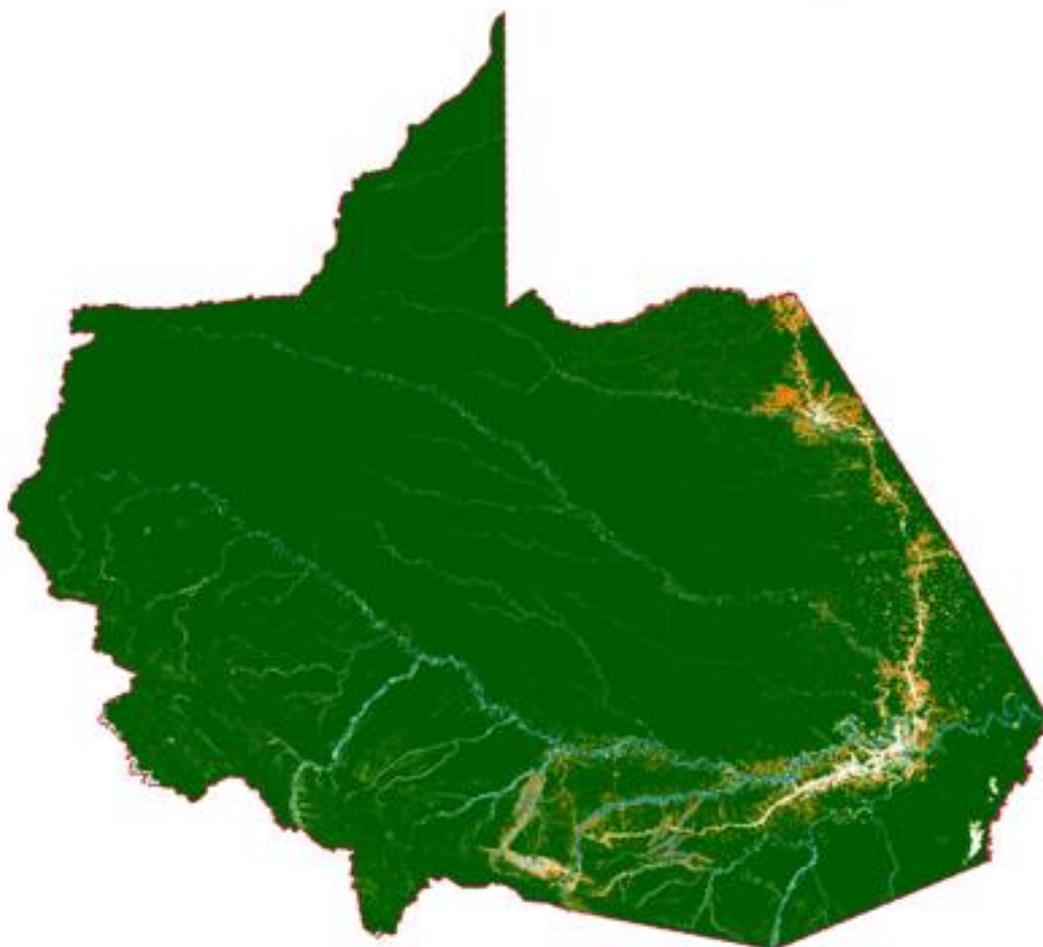


Figure 120 : Méthode axe 3 : relations entre les processus

## 11 ILLUSTRATION



## 12 RESUME ET MOTS CLES

### 12.1 Langue française

#### **Résumé :**

L'évolution du couvert forestier est gouvernée par trois processus : la déforestation, la dégradation des forêts et la régénération. La déforestation est très étudiée, mais peu d'analyses sont disponibles pour la dégradation. Déforestation et dégradation sont des processus interdépendants et doivent ainsi être étudiés ensemble. La régénération est un processus qui intervient après la déforestation. Cette thèse professionnelle s'intéresse à la compréhension de l'évolution de ces trois processus, à partir de produits cartographiques du JRC (Joint Research Center) réalisés à partir des images Landsat, et de GLAD (Global Land Analysis and Discovery). L'évolution des trois processus est présentée sur la période 1982-2020 et s'intéresse aux dynamiques spatio-temporelles, aux causes de déforestation et dégradation, et aux relations entre les processus.

#### **Mots-clés :**

Dégradation des forêts, Déforestation, Régénération des forêts, Landsat, Madre de Dios, Guaviare

### 12.2 Langue anglaise

#### **Summary:**

The evolution of forest cover is governed by three processes: deforestation, forest degradation and regeneration. Deforestation is widely studied, but few analyzes are available for degradation. Deforestation and degradation are interdependent processes and must therefore be studied together. Regeneration is a process that occurs after deforestation. This professional thesis focuses on understanding the evolution of these three processes, using cartographic products from the JRC (Joint Research Center) produced from Landsat images, and GLAD (Global Land Analysis and Discovery). The evolution of the three processes is presented over the period 1982-2020 and focuses on spatio-temporal dynamics, the causes of deforestation and degradation, and the relationships between the processes.

#### **Keywords:**

Forest degradation, Deforestation, Forest regrowth, Landsat, Madre de Dios, Guaviare