

Projet DYNAMIC

**DYNAMIQUE DE LA FRAGMENTATION DES NOYAUX DE FORÊT HUMIDE
SUR SUBSTRATS ULTRAMAFIQUES EN NOUVELLE-CALÉDONIE**

M. Despinoy (IRD)

M. Mangeas (IRD)

P. Birnbaum (Cirad)

L. L'huillier (IAC)

**Restitution de projet
Mercredi 09 août 2017**



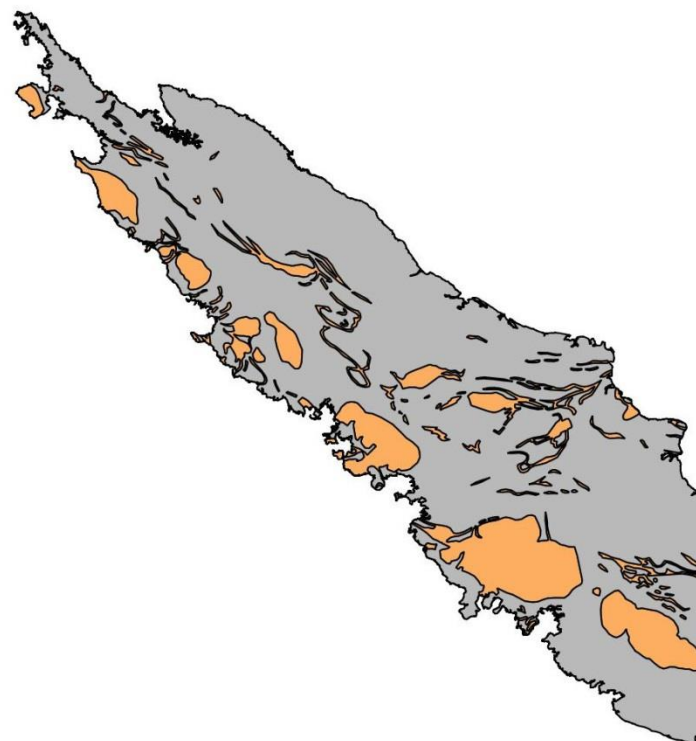
Contexte



- Observations par l'OEIL de dégradation des formations forestières dans le Grand Sud
- Appel à proposition concernant une étude sur l'impact des activités humaines, et en particulier de l'activité minière, sur le milieu forestier
- Réponse de l'IRD/CIRAD/IAC qui, dans la continuité de CORIFOR, propose une étude sur la fragmentation forestière



Nouvelle-Calédonie (Sud de la grande terre)

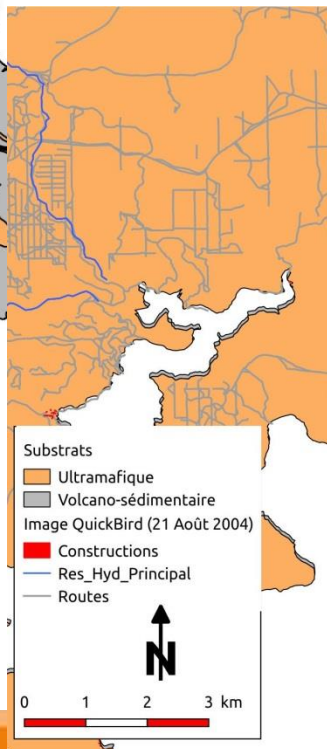


Substrats

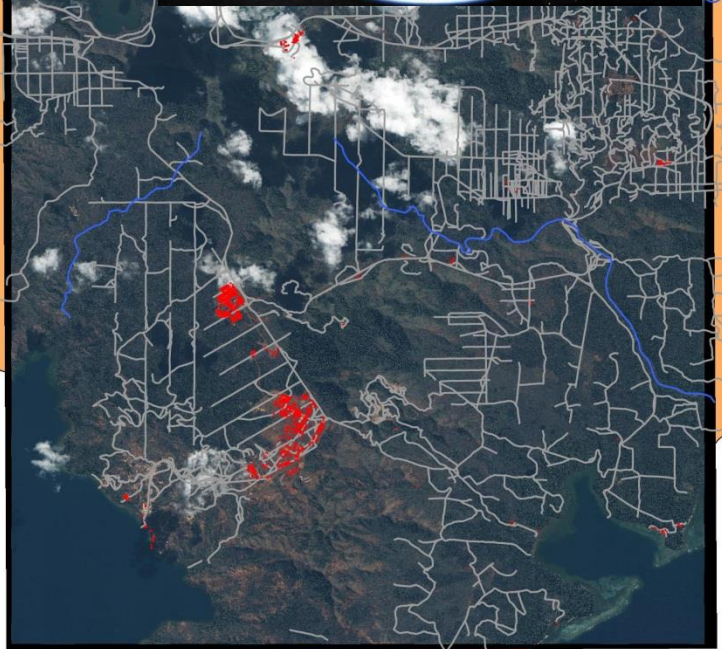
Ultramafique

Volcano-sédimentaire

Image QuickBird (21 Août 2004)



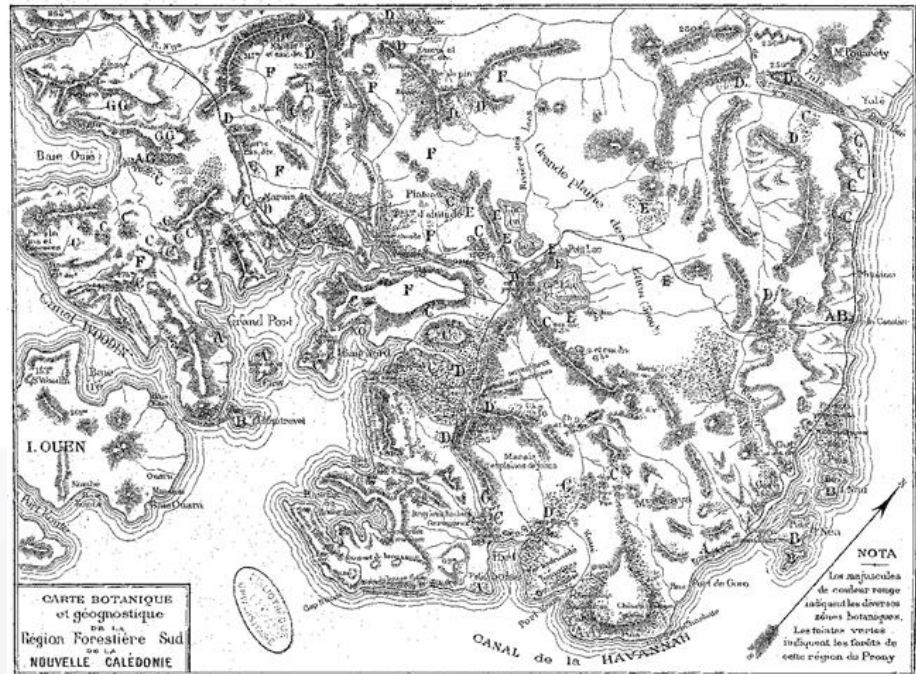
Google Earth



Forêt tropicale sur sols ultramafiques



- **Forêts:** Les explorations... démontrèrent l'existence de **vastes forêts**, faciles à exploiter, situées dans le voisinage de la grande baie...de Prony. Ces premières explorations permirent d'évaluer, **à plus de 1000 hectares la surface des parties boisées facilement exploitables**
- **Maquis:** Au milieu de ces espaces couverts d'une végétation touffue se montrent cependant **çà et là** des endroits complètement **dénudés ou couverts seulement d'arbustes**. Cette différence ne paraît pouvoir être attribuée qu'à l'absence d'eau, due à la perméabilité du sol ferrugineux en ces endroits
- **Latérites:** Sur **le plateau ferrugineux** ..., la végétation est presque partout nulle ou **ne se compose que de fougères et d'arbrisseaux rabougris et clair-semés**



**Un paysage forestier
partiellement fragmenté par la
nature du sol**

...La forêt domine...



Début du XXème siècle

- Plans de Heckel (1892)
- Cartes de Martin (1884 & 1885)
- Cartes de Ratzel (1897)
- Cartes de Fulbert (1905, 1906)
- Cartes de Grob (1908)

Milieu du XXème siècle

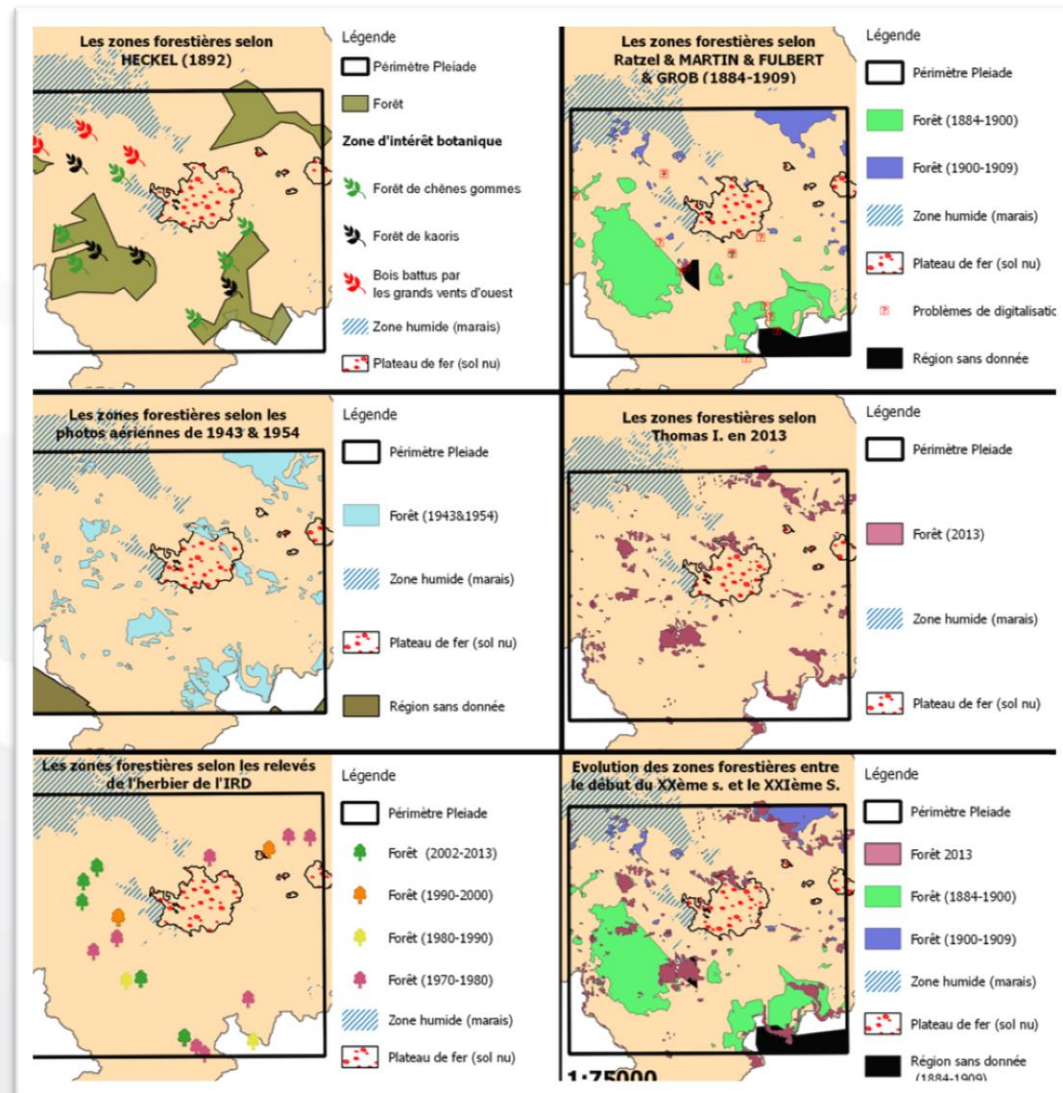
- Photo-aériennes, US-Army (1943)
- Photo-aériennes, IGN (1954)

Début du XXIème siècle

- Carte IRD, « Grand Sud » (2003)
- Photo-aériennes (DITTT, 2009)
- Images satellites Pléiades (2012)

Points Herbier de l'IRD (NOU)

- 1970 - 2013



Transformation

1 siècle d'exploitation (e.g. bois, cobalt, fer, chrome, nickel)

Etat des lieux

Fin du XIX^{ème}

Trois blocs majeurs

Prony

≈ 18,5 km²

Port-Boisé

≈ 14,8 km²

Kwé-Binyi

≈ 9 km²

début du XXI^{ème}

des Fragments reliques

Grand Kaori

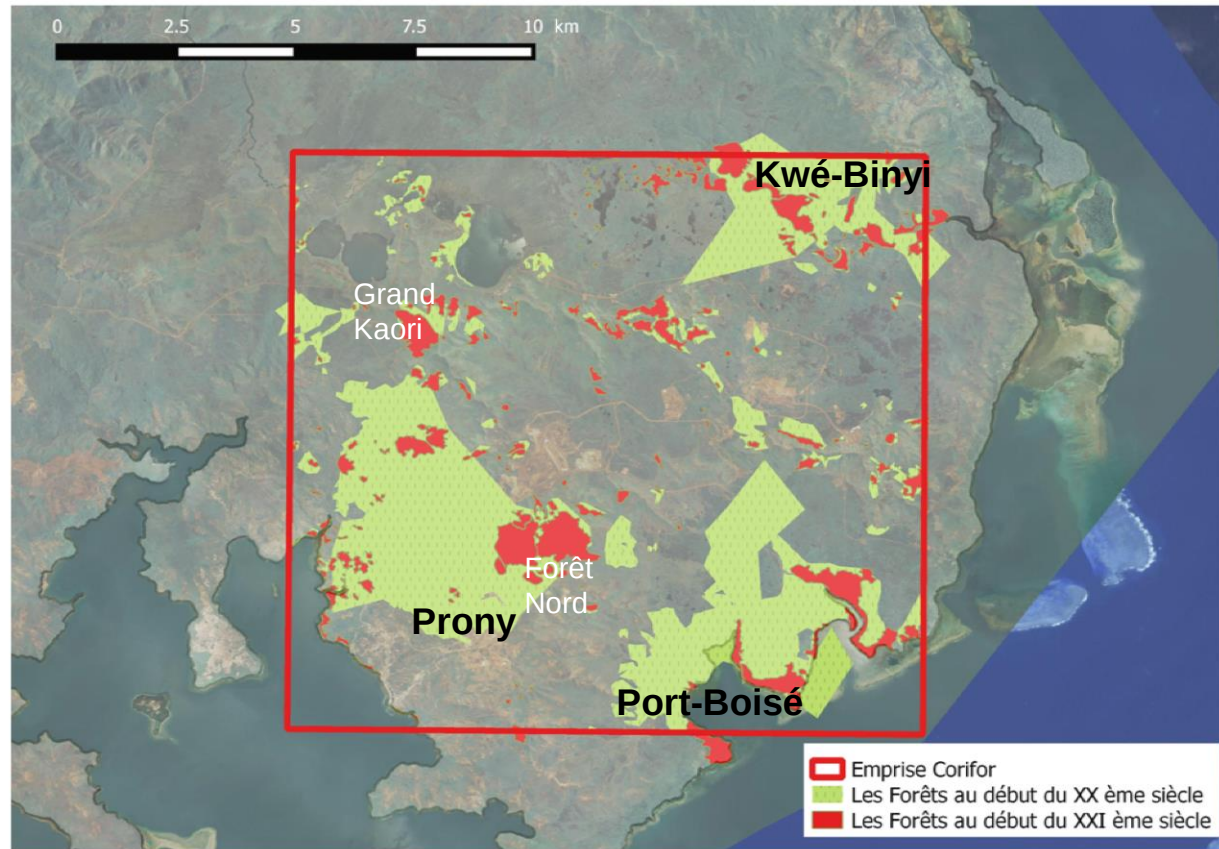
≈ 0,6 km²

Forêt Nord

≈ 1,8 km²

Kwé-Binyi

≈ 1,2 km²



Cinétique

Fin du XIX^{ème}

Trois blocs majeurs

Prony

≈ 18,5 km²

Port-Boisé

≈ 14,8 km²

Kwé-Binyi

≈ 9 km²

mi XX^{ème}

Fragmentation inégale

Prony

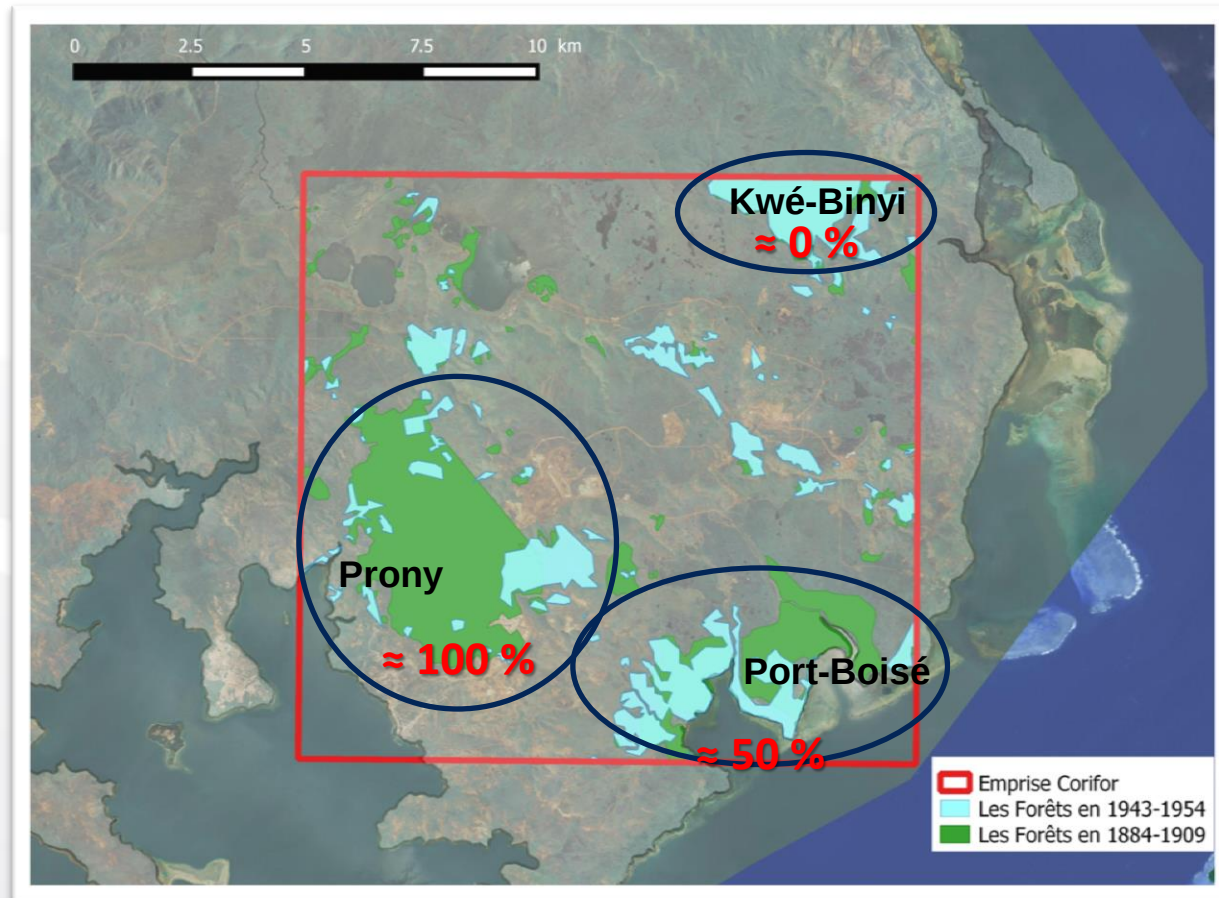
≈ état actuel

Port-Boisé

≈ partie Nord

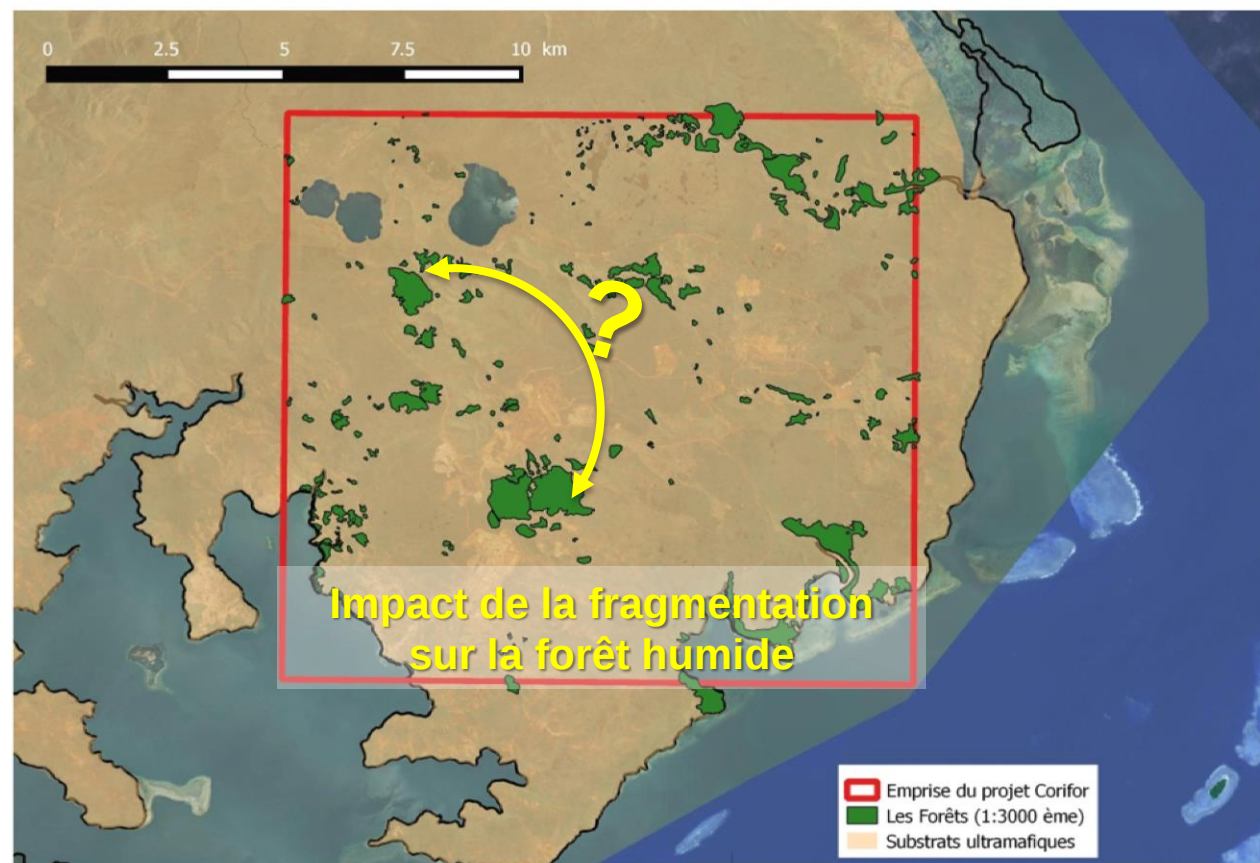
Kwé-Binyi

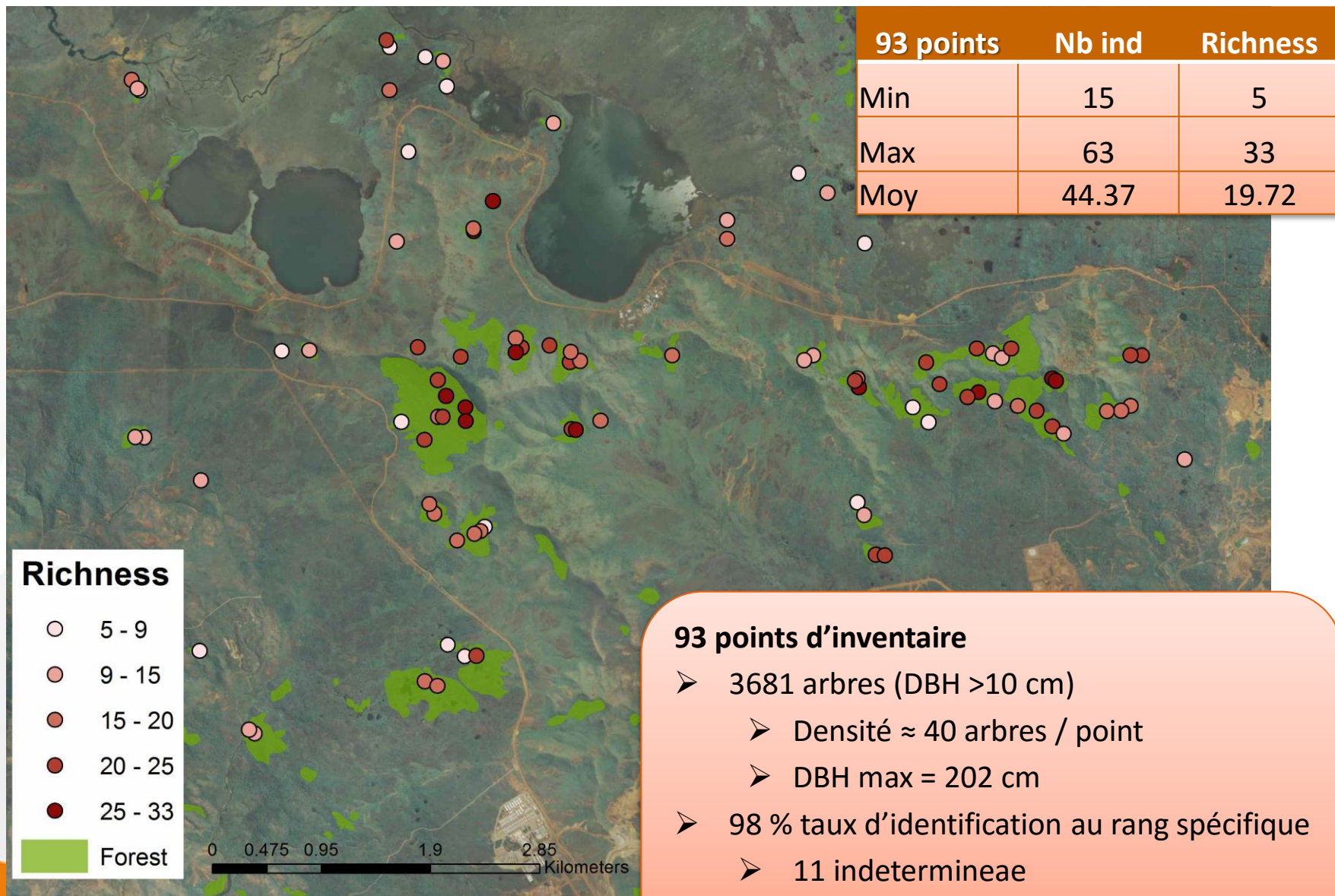
≈ intact



Une approche comparative

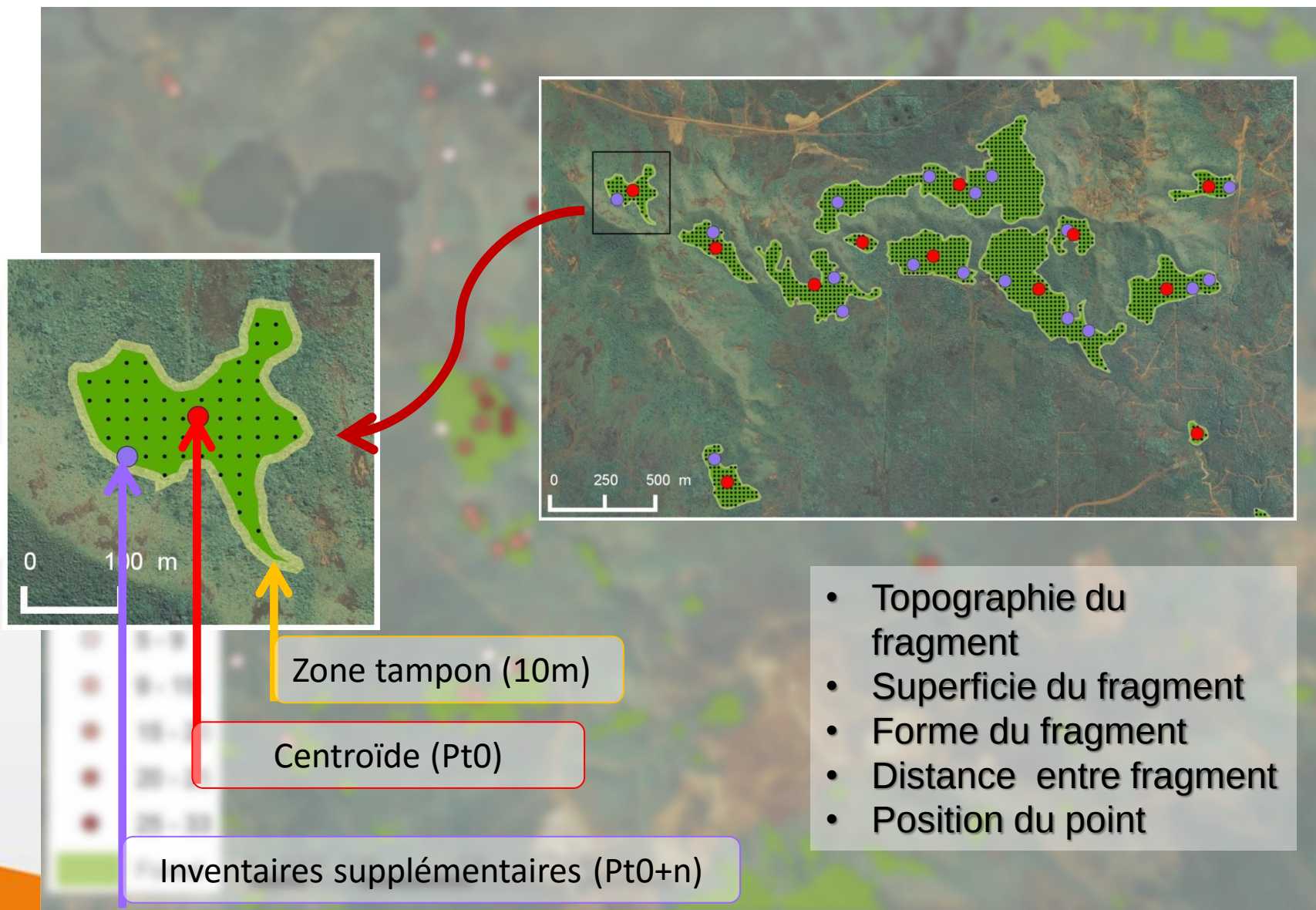
- Richesse
- Biomasse
- Diversité
- Composition
- Génétique
- Biologique





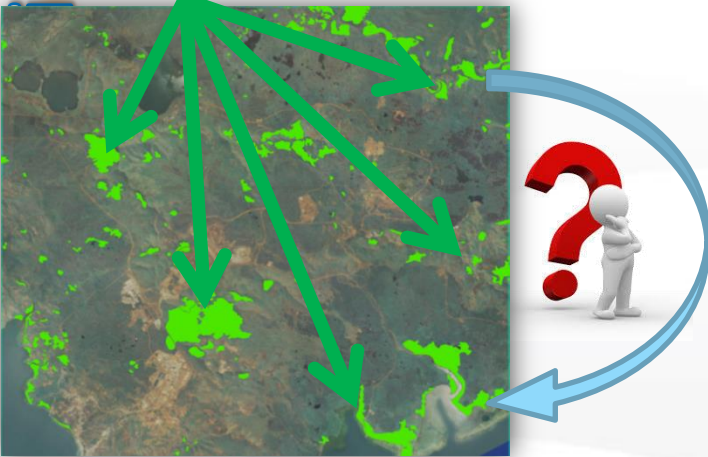
93 points d'inventaire

- 3681 arbres (DBH >10 cm)
 - Densité $\approx$ 40 arbres / point
 - DBH max = 202 cm
- 98 % taux d'identification au rang spécifique
 - 11 indetermineae
- 60 Familles, 121 genres, 200 espèces



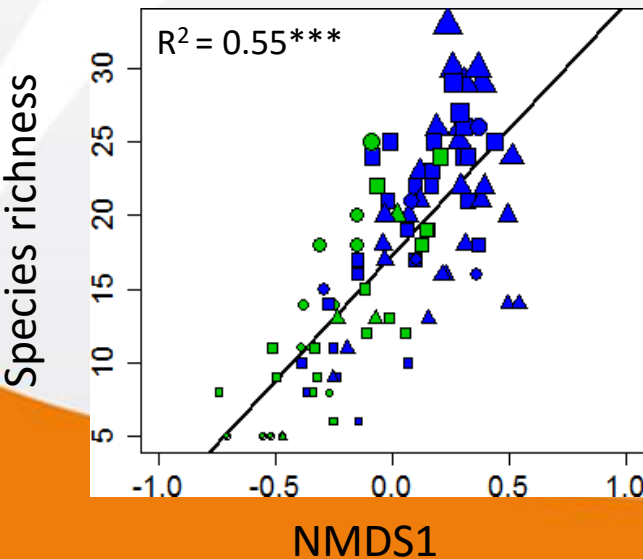
Effets de la fragmentation sur les fragments forestiers reliques

Fragments forestiers



Constats

- Une surexploitation intensive du paysage
- Une fragmentation récente < 1 génération d'arbre
- **Pas d'effet de l'isolement des fragments**
- **Pas d'effet de la distance entre fragments**
- **Effet de la géométrie du fragment (superficie, forme)**
- **Effet de la position du point dans le fragment**



Effets

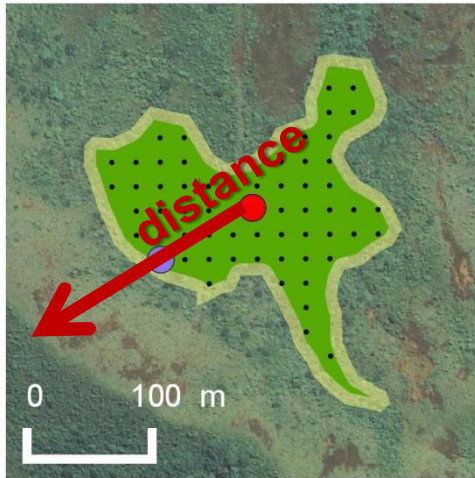
- Une composition floristique et une diversité identiques à des forêts continues
- 70 % des espèces d'arbres zoochores
- La richesse diminue avec la **superficie** du fragment
- La proportion d'espèce zoochores croît avec la richesse
- La densité et la richesse diminuent avec la **proximité** de la lisière

UN

Les effets de la lisière

La distance à la lisière explique tous les effets...

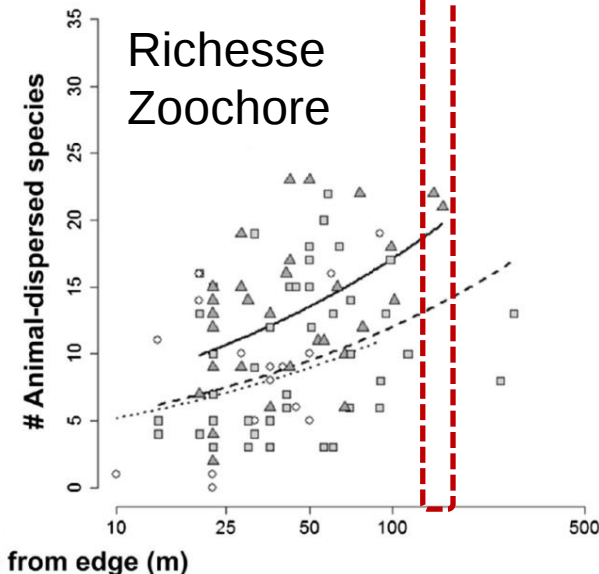
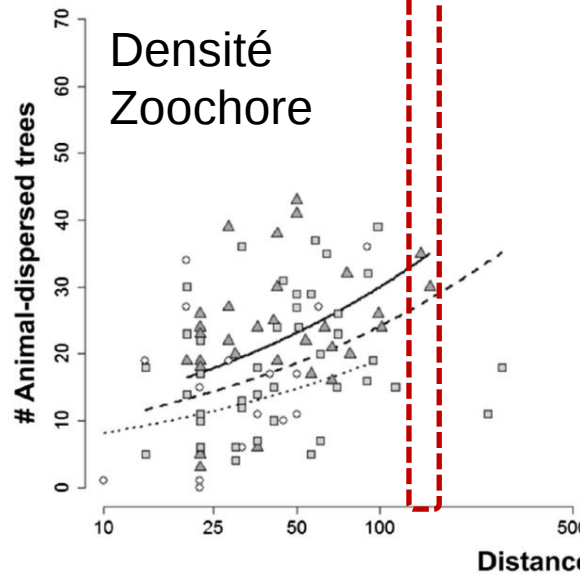
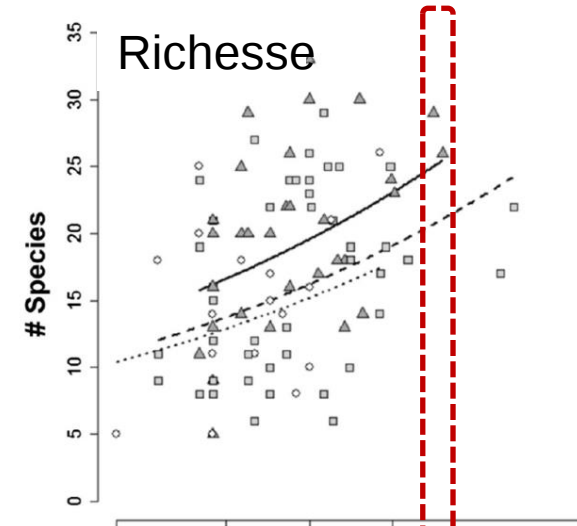
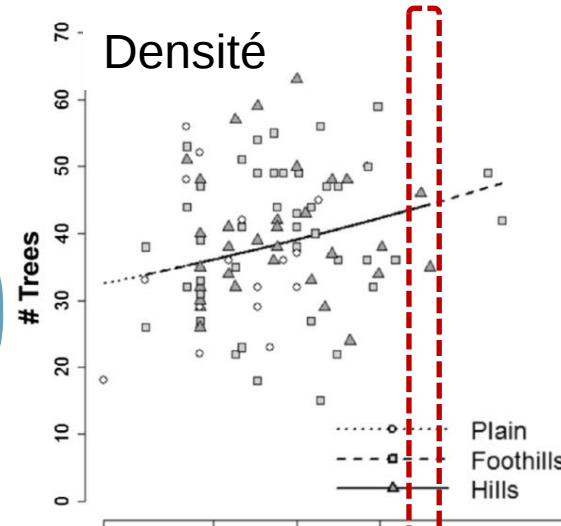
La distance au bord



Proximité de la Lisière :

- **Diminution** du nombre d'arbres et d'espèces
- **Filtre** sur le mode de dispersion

Effets >> 100 m

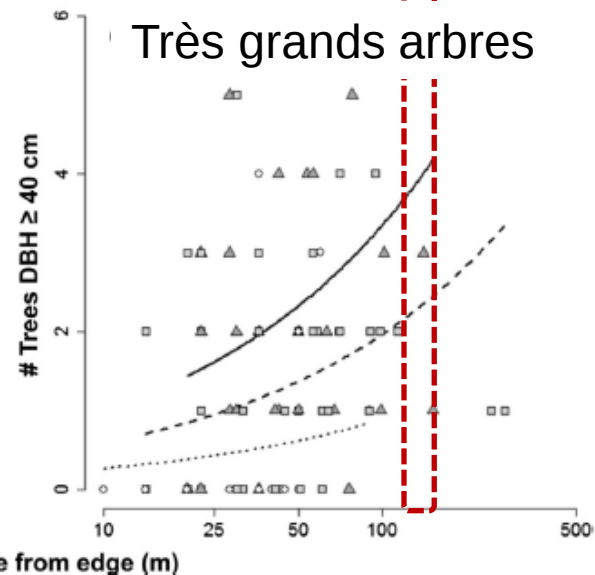
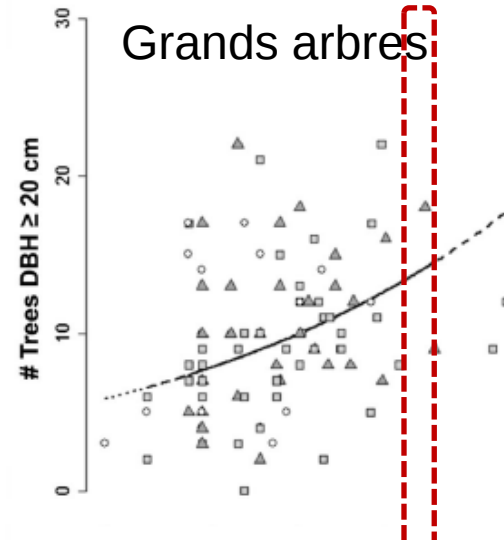
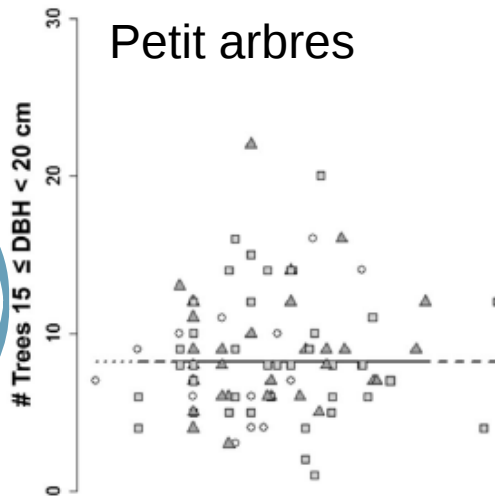
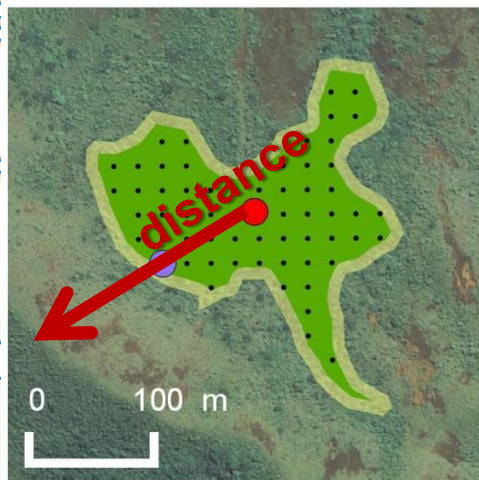


UX

Les effets de la lisière

La distance à la lisière explique tous les effets...

La distance au bord



Proximité de la Lisière :

- Diminution de la biomasse
- Impact croissant avec la taille des arbres

Effets >> 100 m

Les effets de la lisière

brief communications

Conservation

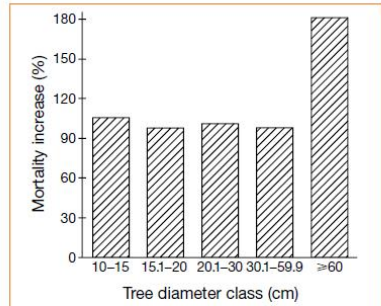


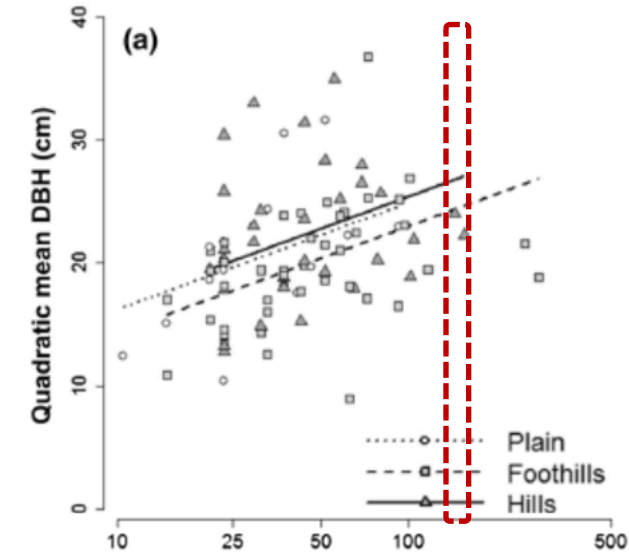
Figure 1 Percentage increase in mortality rates of rainforest trees near fragment edges, relative to rates in forest interiors. Calculated as: $[(\text{mean mortality rate on edges} - \text{mean mortality rate in interiors}) / \text{mean mortality rate in interiors}] \times 100$. Sample sizes of dead trees are as follows. 10-15 cm diameter: 2,740 (edge); 1,501 (interior). 15.1-20 cm diameter: 1,308 (edge); 745 (interior). 20.1-30 cm diameter: 1,219 (edge); 684 (interior). 30.1-59.9 cm diameter: 944 (edge); 538 (interior). ≥60 cm diameter: 137 (edge); 55 (interior).

Amazonie, Manaus



Figure 2 The fragmentation of the Amazon rainforest is having a disproportionately severe effect on large trees, which are more vulnerable to uprooting, infestation by parasitic woody vines and desiccation near forest edges.

Plateau de Goro



Effets > 300 m

NATURE | VOL 404 | 20 APRIL 2000 | www.nature.com

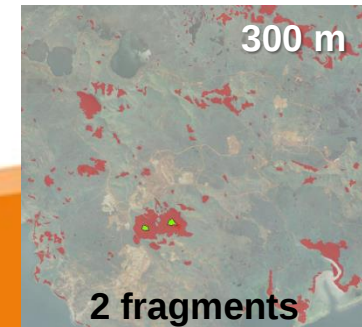
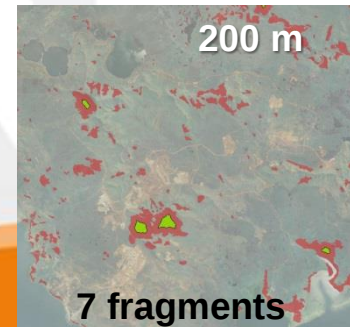
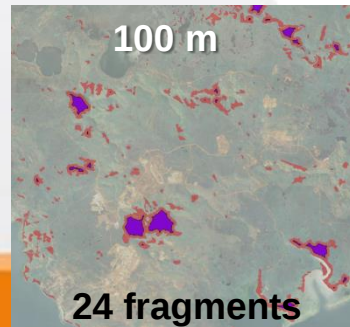
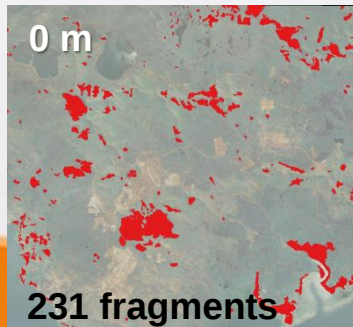
(Laurance et al., 2000)

100 m << Effets < 300 m

(Ibanez et al., 2017)



Peut encore
parler de
fragments
forestiers ?



Objectif principal

- caractérisation de l'état de la fragmentation structurelle et de son suivi temporel

Axes de travail

- Définition d'un modèle de caractérisation automatique des patches forestiers (gradient de végétation)
- Suivi diachronique des évolutions des patches forestiers
- Observation de terrain
- Étude de la connectivité structurelle (caractéristiques géométriques) qui lie les unités de paysages



Projet DYNAMIC

Cartographie des unités forestières

Principes

➔ Dépend de la définition du terme « forêt »

- Pas de définition universelle
- Souvent reliée aux espèces présentes dans la formation

➔ Cartographie par télédétection

- Type de capteur : radar, lidar, optique
- Résolutions spatiales : décamétrique, métrique, submétrique
- Méthodologies
 - Pixel (valeurs radiométriques)
 - Détection de houppiers utilisés comme proxy pour segmenter la forêt
 - Textures



➔ Matériel et méthode

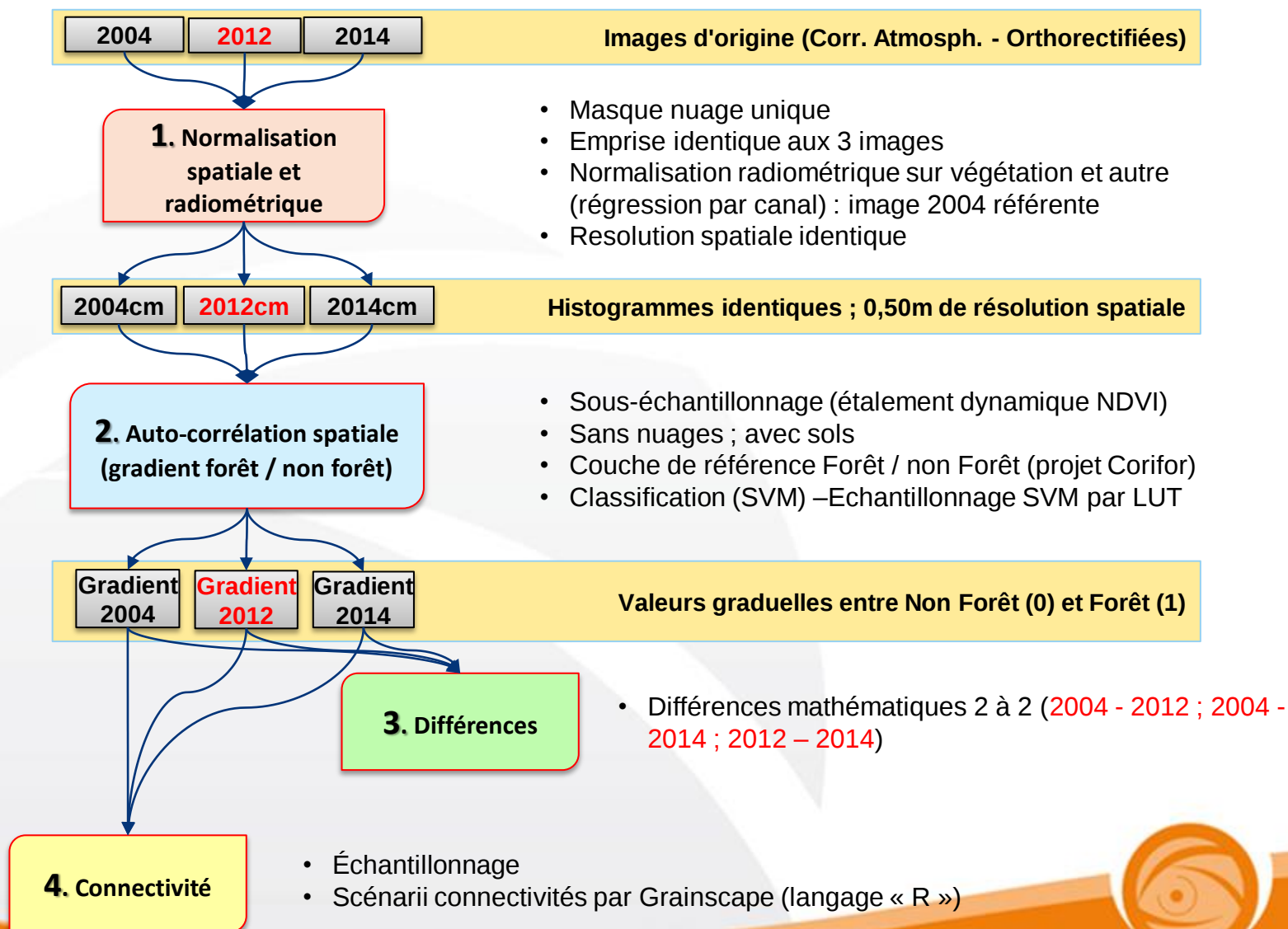
- Type de capteur : optique <1m
- Apprentissage statistique des délimitations - Approches Gomez *et al.* (2010) améliorée -
- Indice de performance : AUC (10-fold cross validation)

➔ Etapes

1. Détection des houppiers (arbres/arbustes vs végétation rase ou sol nu)
2. Classification des zones de forêt en fonction des caractéristiques structurelles + valeurs radiométriques
3. Connectivité

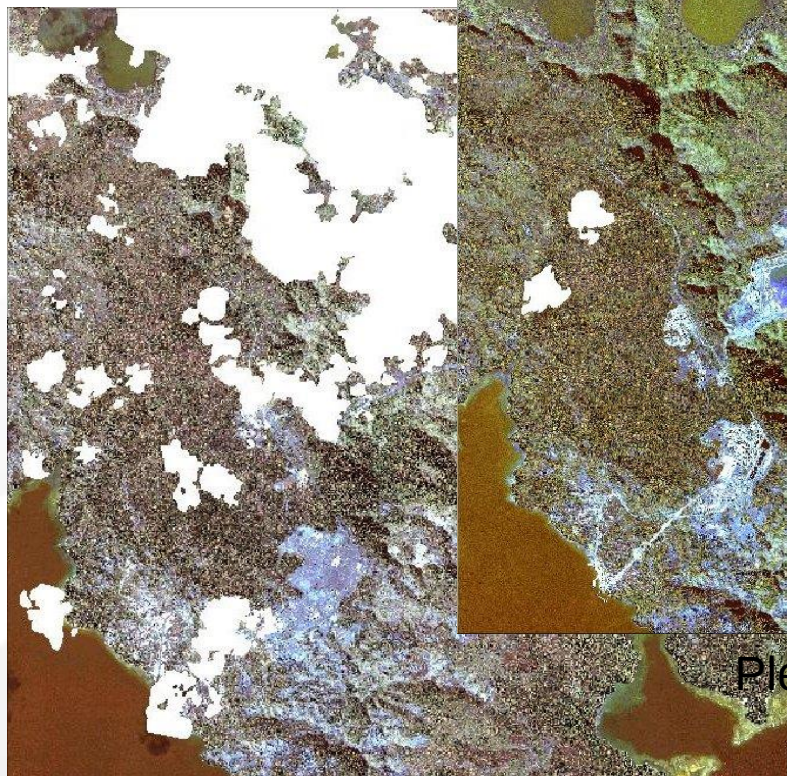


Cartographie des unités forestières : Diagramme des tâches

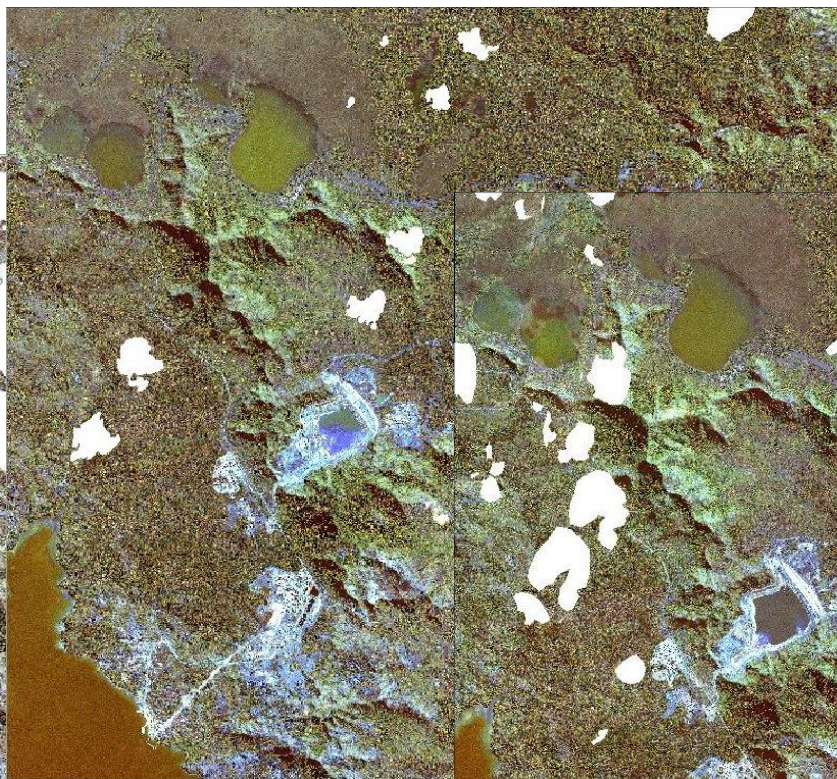


Images satellitaires

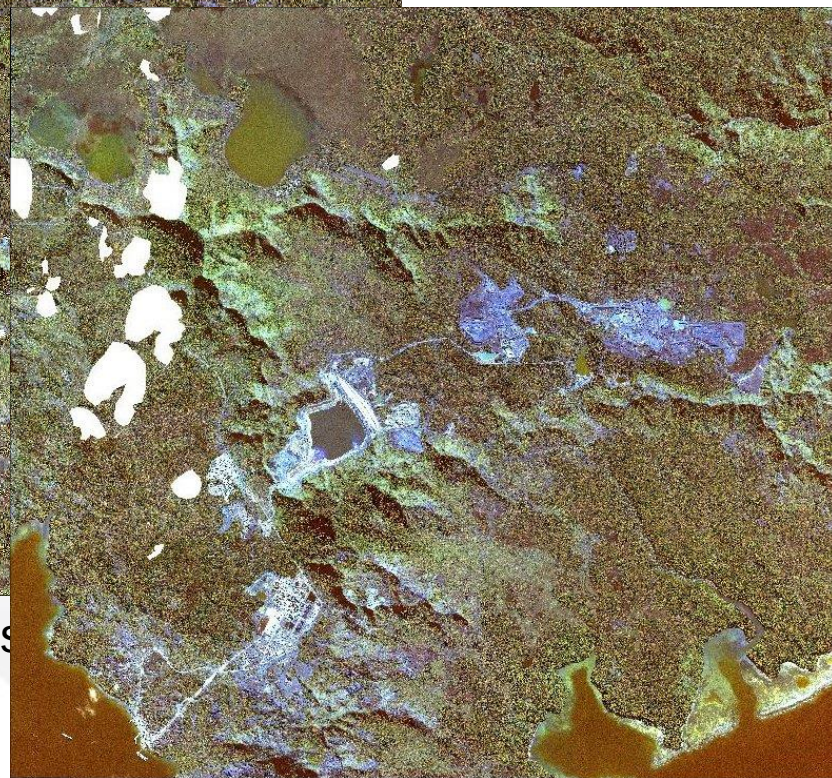
Données



QuickBird 2004



Pleiades



Pleiades 2014

Capteur	Resolution spatiale (m)	Nb canaux	Date d'acquisition	Pre-traitement	Revendeur
QuickBird	0.6	4 (Blue to NIR)	21/08/2004	Ortho	MapMart
Pléiades	0.5	4 (Blue to NIR)	13/07/2012	Ortho	CIPAC
Pléiades	0.5	4 (Blue to NIR)	25/07/2014	Ortho	CIPAC



	SIG Point	Latitude	Longitude	Date	Heure_GMT	Altitude	Hauteur	D20	Type veg	Densité (canopée)	Diversité	Remarques
1	A5	-22,2735	166,94509	02/10/2016	00:56:33	278.2795	4-5<	2	1-2	2		Canopée perforée, epars
2	AB5-1	-22,273651	166,94518	02/10/2016	01:01:45	276.1719	2<	0	1	1		Trouée
3	B5	-22,273876	166,9452	02/10/2016	01:04:48	273.0007	10<	4	2	2		Rupture de pente
4	BC5-1	-22,274012	166,94515	02/10/2016	01:09:21	266.9505	5	0	3	2		Haut crête
5	BC5-1bis	-22,274046	166,94519	02/10/2016	01:13:52	265.6371	15<	7	4	3		creek
6	C5	-22,27416	166,94521	02/10/2016	01:17:14	269.7425	15	3	4	3		Dominé gymnostoma
7	D5	-22,274642	166,9452	02/10/2016	01:28:13	266.5354	5-10	2	3	2		Transition 3-4
8	A5	-22,273539	166,9451	02/10/2016	00:50:49	285.2194	2,5	0	2		1	
9	X	-22,273818	166,9452	02/10/2016	00:56:05	283.2502	1,5	0	1		1	
10	B5	-22,273896	166,94524	02/10/2016	00:59:30	281.2369	7	4-5	3		1	
11	C5	-22,274172	166,9452	02/10/2016	01:06:38	276.7097	10	6	4		2	
12	D5	-22,274596	166,94529	02/10/2016	01:10:19	277.6353	15	12	4		2	
13	A10	-22,272666	166,94642	02/10/2016	03:01:10	287.2433	5<	0	2	3	1	Bord de formation
14	AB10	-22,272767	166,94637	02/10/2016	03:08:02	287.0756	5<	1	2	2	1	Bord de formation
15	BC10	-22,272873	166,94637	02/10/2016	03:11:47	286.2052	0	0	0	0	0	Piste
16	D10	-22,272991	166,94632	02/10/2016	03:14:13	282.2495	5<	0	2	2	1	Pente
17	E10	-22,273169	166,9463	02/10/2016	03:19:44	281.0984	7<	0	2	2	1	Souche énorme chêne gomme
18	A4	-22,275599	166,94371	02/10/2016	03:36:23	277.6357	8	2	2	2	0	Juste lisère
19	C4	-22,275759	166,94391	02/10/2016	03:43:21	276.9102	0	0	0	0	0	Milieu de piste
20	B4	-22,275699	166,9438	02/10/2016	03:41:13	276.1565	6<	0	2	2	0	Lisière
21	E4	-22,275882	166,944	02/10/2016	03:45:26	271.318	10-12	3	3	3	2	Pente regression?/REGRESSION
22	A2_Out	-22,275458	166,94173	02/10/2016	04:05:49	277.3044	5	0	2	2	0	Trou d'eau, Lisère

98	DOL	-22,274845	166,94473	02/10/2016	01:24:38	277.94	5-6	1	2	1	1	
99	DOL	-22,274683	166,94476	02/10/2016	01:26:07	277.1474	2	0	1	0	1	
100	BASE	-22,254583	166,87089	02/10/2016	06:41:01	251.5253	2-3	0	1	0	1	
101	CASCAD	-22,275901	166,94381	02/10/2016	03:34:27	272.8699	5-6	1	2	1	1	
102	FORETBC1	-22,276325	166,93765	02/09/2016	23:42:13	293.3176	6	0	2	1	1	
103	JNC1	-22,276514	166,93774	02/09/2016	23:46:14	294.2108						Annulé
104	OÛT2	-22,274634	166,93791	02/09/2016	23:19:09	304.4713	8-10	1	3-4	3	2	
105	TROÛ1	-22,274547	166,93839	02/09/2016	23:26:18	298.9077	12	5	4	3	3	
106	MAQ1	-22,274707	166,9379	02/09/2016	23:29:42	298.7007	15	2	4	3	3	
107	JNA01	-22,276016	166,93773	02/09/2016	23:35:27	293.9451	6	2	2-3	2	2	
108	JNB1	-22,276247	166,9377	02/09/2016	23:38:59	293.234	4-5	2	1-2	1	2-1	
109	DEJ	-22,272975	166,94677	02/10/2016	02:01:36	274.5969	1,5-2	0	1	0	1	

Type de végétation

0- Nu

1- Maquis

2- Para-forestier

3- Para

4- Forêt

Densité canopée

0- Nulle

1- Peu dense

2- Perforée

3- Continue

Diversité

0- Monospécifique/quelques espèces

1- Intermédiaire

2- Intermédiaire

3- Ultra diversifiée

Modèles

Résultats

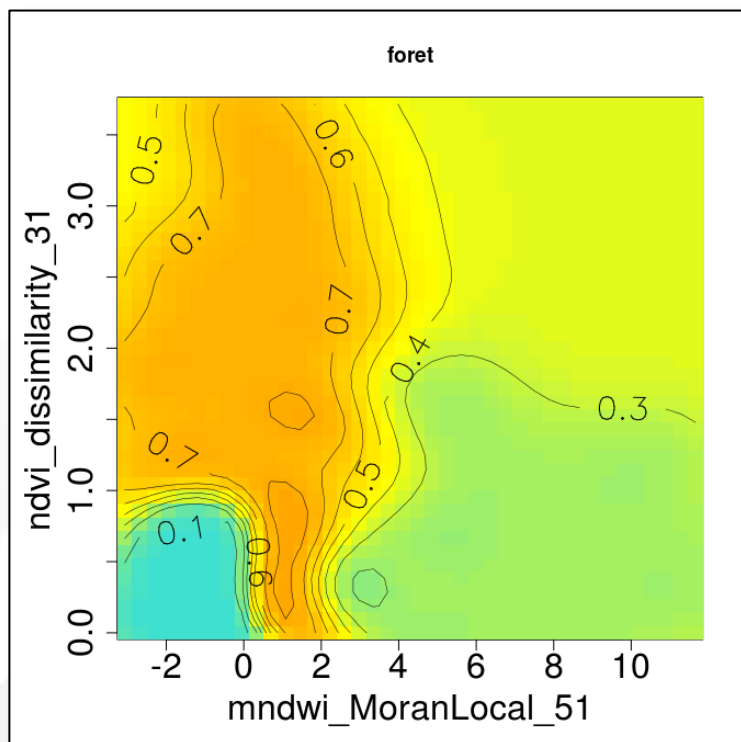
MODEL	Learnings	INPUTS	Particularity	Best Model	AUC	Remarques
Model 1	2012	BI-15-Contrast-ML55 BI-15-Variance-ML55 FG_98-ML55 NDVI-ML55		NDVI-ML55 + BI-15-Contrast-ML55	0,76	Mauvais sur (sans 2012)
Model 2a	2014	BI-31-Contrast-ML31 & ML55 BI-ML31 & ML55 NDVI-ML31 & ML55		NDVI-ML31 + BI-ML31	0,74	Mauvais sur (sans 2012)
Model 2b	2014	BI-31-Contrast-ML31 & ML55 BI-ML31 & ML55 NDVI-ML31 & ML55	Sol nu masqué	NDVI-ML31 + BI-ML31	0,74	Mauvais sur (sans 2012)
Model 3a	2014	MNDWI-ML31 MNDWI-15-Mean-ML31 MNDWI-45-Mean-ML31 MNDWI-45-Contrast-ML31 MNDWI-45-Dissimilarity-ML31 NDVI-ML31 NDVI-15-Mean-ML31	Sol nu masqué Problème dans les inputs QB ??	MNDWI-45-Mean-ML31 + NDVI-45-Mean-ML31	0,88	Mauvais sur (sans 2012)
Modèle 3b	2014	MNDWI-ML31 MNDWI-15-Mean-ML31 MNDWI-45-Mean-ML31 MNDWI-45-Contrast-ML31 MNDWI-45-Dissimilarity-ML31 NDVI-ML31 NDVI-15-Mean-ML31	Sol nu masqué	MNDWI_45_Dissim_ML31 + NDVI_ML31	0.87	Bon sur 2004 (sans 2012)
MODEL 4	2004 2012 2014	92 inputs	Sol nu masqué	MNDWI_MoranLocal_51 + NDVI_Dissimilarity_31	0,78	Acceptable sur les 3 images

Récapitulatif des différents modèles implémentés et testés à partir des données fournies par l'AMAP (carte des patchs forestiers)

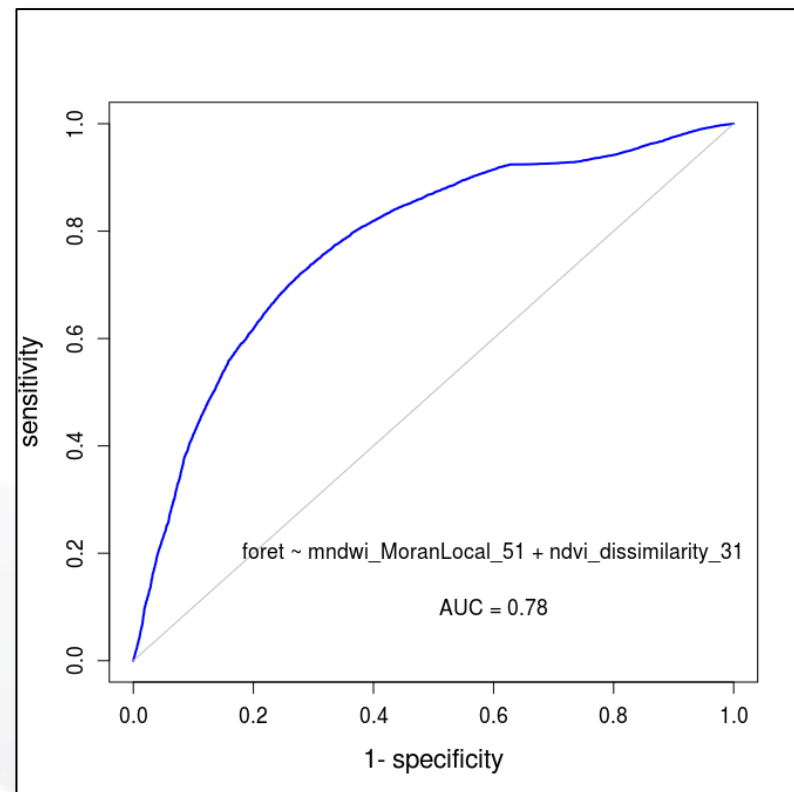


Validation du modèle 4

Résultats



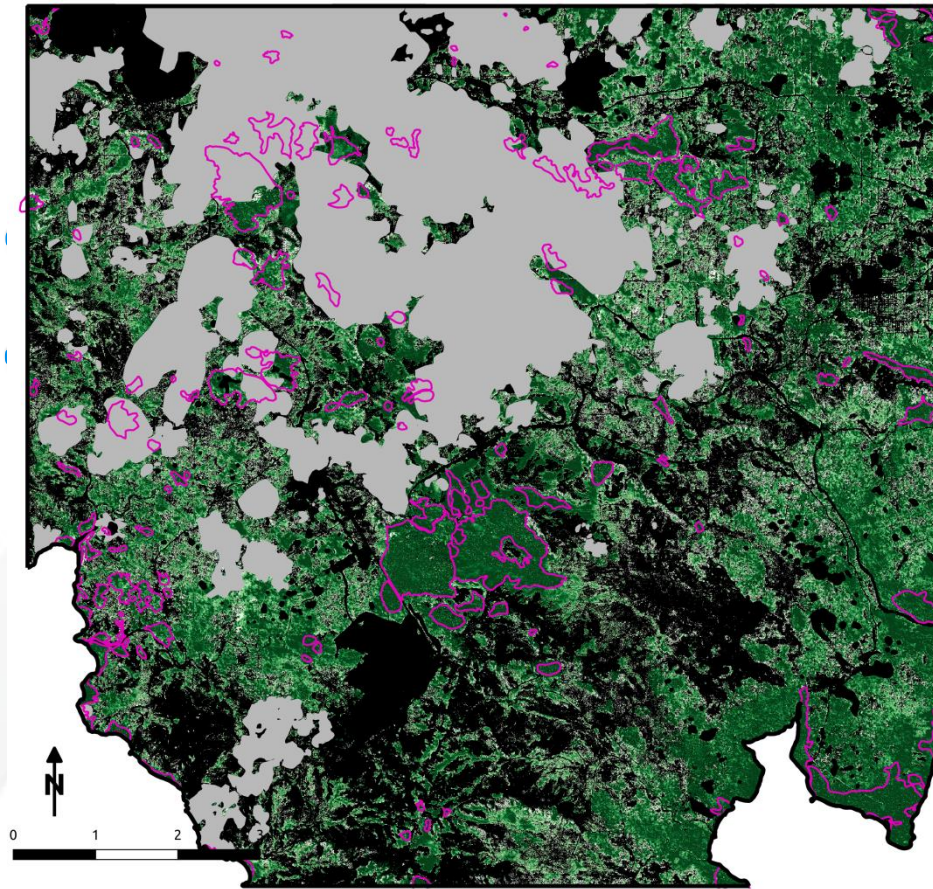
Probabilité de la densité (0 = non forêt et 1 = forêt) pour les meilleurs indices



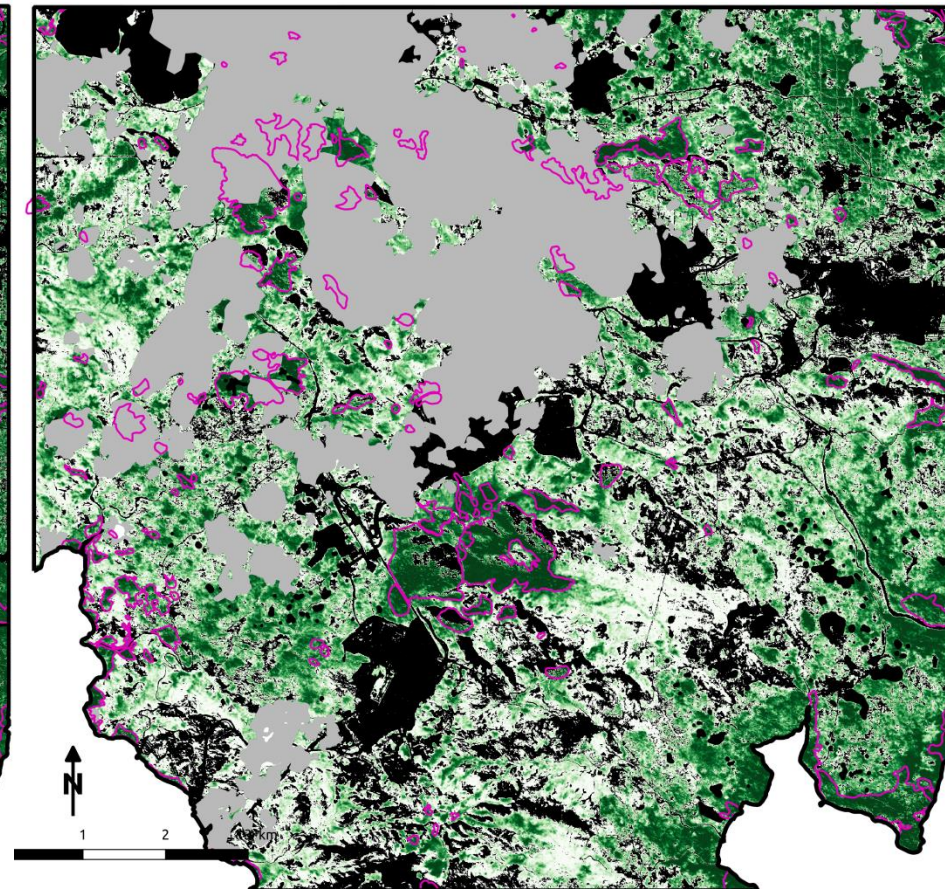
Courbe ROC avec l'AUC pour les meilleurs indices



Cartes des probabilités (gradients de forêt)



Quickbird 2004



Pléiades 2014

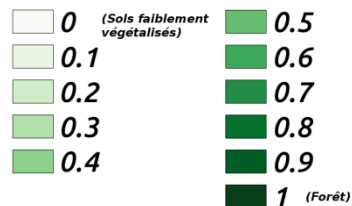
Légende

 **Forêts_CORIFOR**

 **Nuages**

 **Eau + Ombres Pentas
+ Sols Nus**

Probabilité Forêt



Résultats de l'application du modèle 3b sur les extractions (zone 2) pour les images de 2004 (Quickbird), de 2012 (Pléiades) et 2014 (Pléiades)



Exemple de seuillage arbitraire sur les gradients correspondants aux conditions suivantes :

- « Forêt » : Gradient $\geq 0,8$
- « Forêt en devenir » : $0,5 \leq \text{Gradient} < 0,8$
Formations végétales de bordure de forêt (lisières)
- « Autre végétation » : $0 \leq \text{Gradient} < 0,5$
Autres formations végétales en dehors de forêt (savanes herbeuses-arbustives-arborées, maquis...)

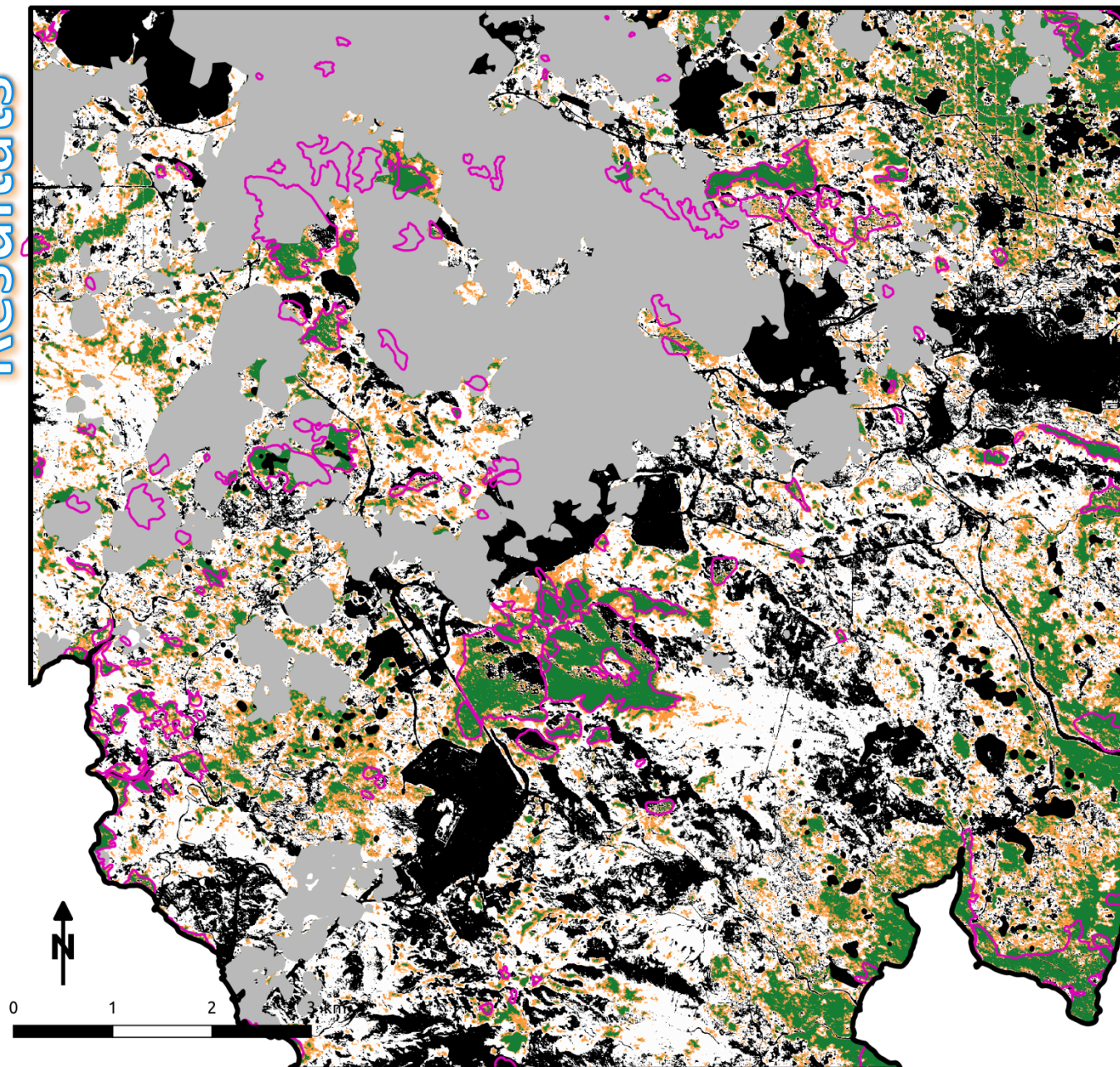


Cartes des probabilités (gradients de forêt avec seuils)

Carte de probabilité
Forêt / Non Forêt
(Seuils)

(25/07/2014)

Résultats



UMR 228 ESPACE-DEV - Mars 2017

Légende

Forêts_CORIFOR

Nuages

No Data 2014

Eau + Ombres Pentés + Sols Nus

Proba_Msk_2014

0 -> 0.5 (végétation autre)

0.5 -> 0.8 (forêt en devenir)

0.8 -> 1 (forêt)

Analyse cinétique des fragments forestiers basée sur les gradients forestiers :

- Seuil $\geq 0,8$ = Très haute probabilité que le pixel soit dans la class forêt (80%)
- Seuil à 0,5 (50%) = Probabilité que le pixel soit dans la classe non-forêt

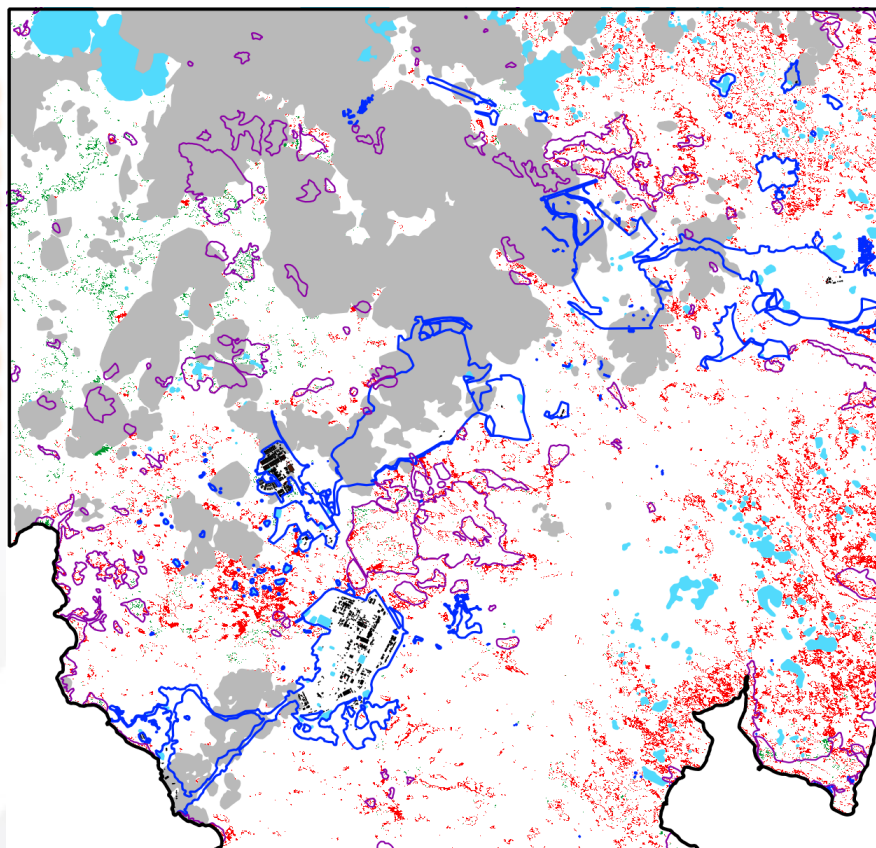
2004	2014	Cinétique	Couleurs sur la carte
Forêt (P>0.8)	Forêt (P>0.8)	Neutre	Blanc
Forêt (P>0.8)	non-Forêt (P<0.8)	Regression/Pertes	Rouge
Forêt (P>0.8)	no-data	Inconnue	Blanc
no-data	Forêt (P>0.8)	Inconnue	Blanc
non-Forêt t (P<0.5)	Forêt (P>0.8)	Progression/Gain	Vert
non-Forêt (P<0.5)	no-data	Inconnue	Blanc
no-data	Forêt (P<0.5)	Inconnue	Blanc

Résumé de la classification de la cinématique des fragments forestiers

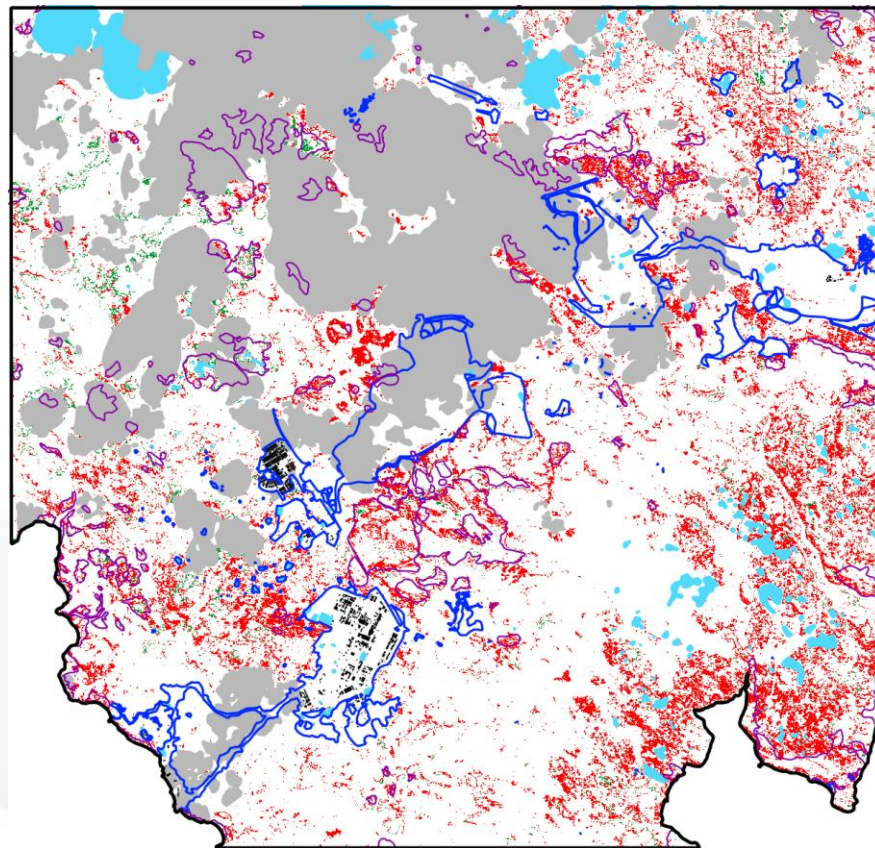


Differences de probabilité de forêt

Résultats



2004 - 2012



2004 - 2014

Légende

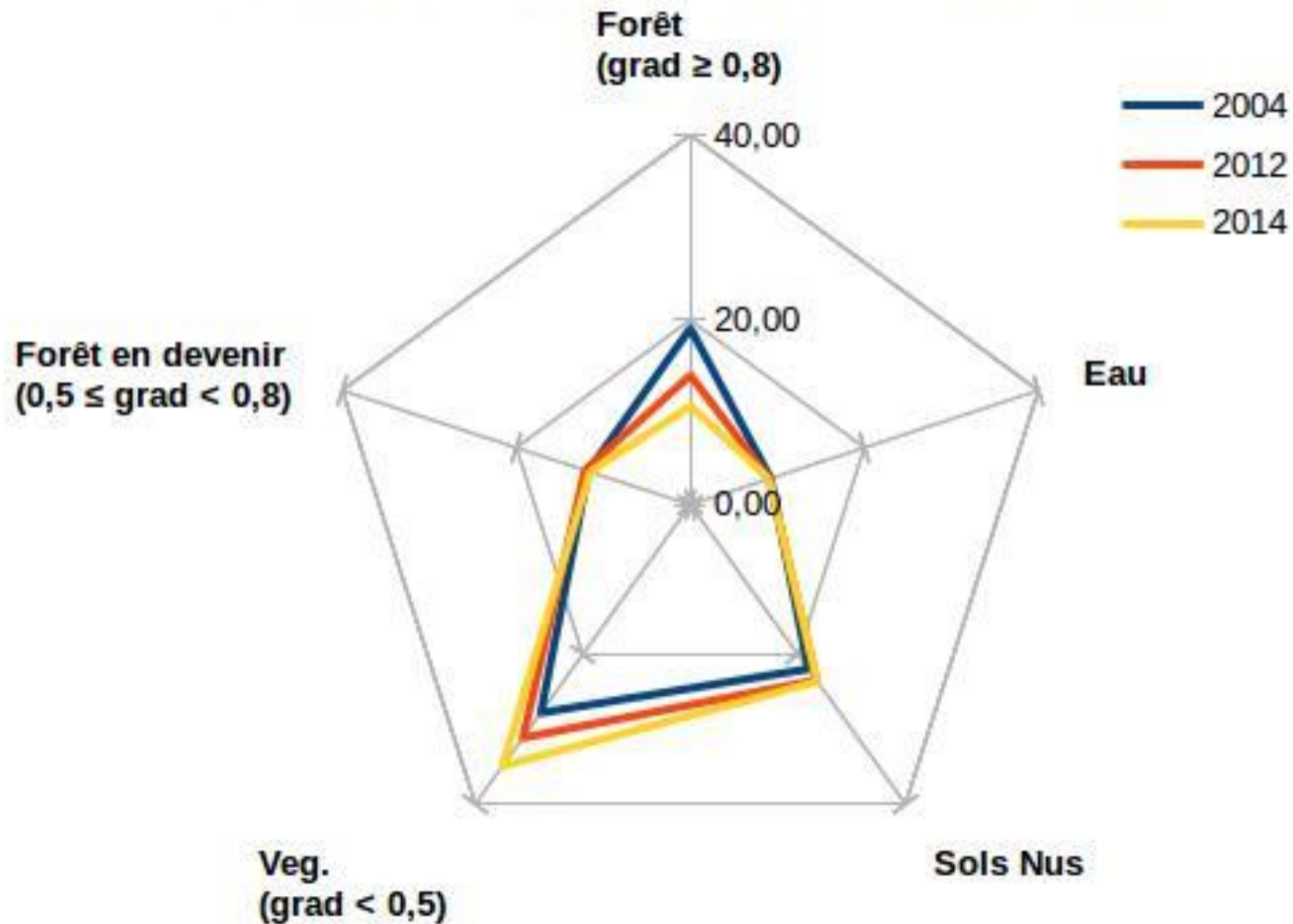
- Nuages_Ombres_Tot_CouvertureImg
- Plan_Eau
- Forêt_CORIFOR
- Defrichements_2014
- Batiments

DiffGrad14-04

- Pertes
- Gains



Evolution des superficies par classe (en km2)



Différences de gradients de forêt

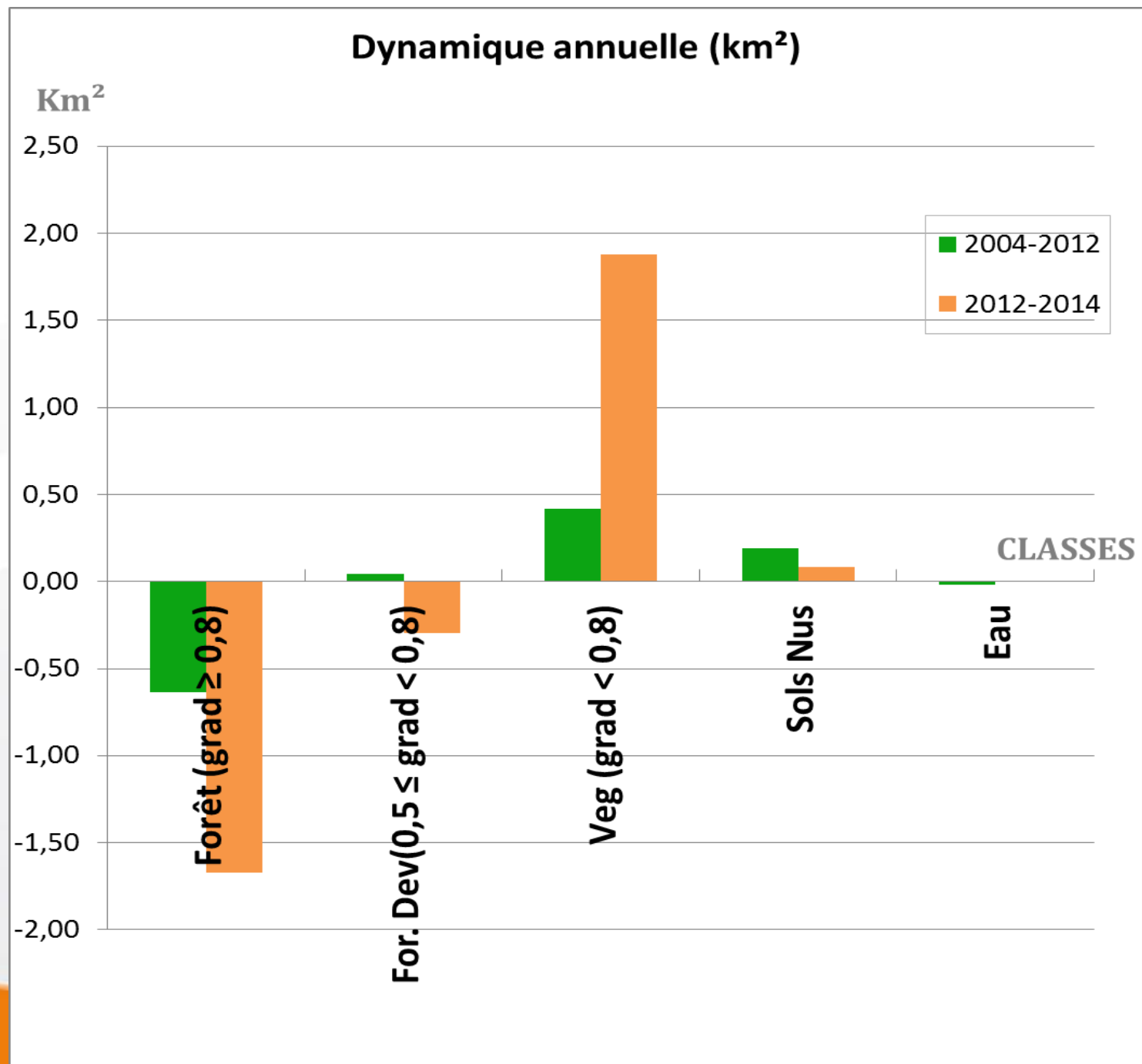
Résultats

	2014-2004		2014-2012		2012-2004	
	Km ²	% / 2004	Km ²	% / 2012	Km ²	% / 2012
Régressions	10,41	-54,52%	4,17	-29,71%	8,51	-44,58%
Progressions	2,00	18,72%	0,82	7,71%	3,45	24,57%
Sans changements	8,68	45,48%	9,86	70,29%	10,58	55,42%

Pertes	1,04	2,08	1,06
Gains	0,20	0,41	0,43

- Entre 2004 et 2014 => régression des formations forestières de 55% (10,41km² de perte / 2004) et gain de 19% (2 km²)
- Perte par année :
 - 1,06 km²/an entre 2004 et 2012
 - 2,08 km²/an entre 2012 et 2014
 } Pas linéaire / **Augmentation de la régression**
- Gain par année :
 - 0,43 km²/an entre 2004 et 2012
 - 0,41 km²/an entre 2012 et 2014
 } **Diminution légère du Gain**





Indice de Connectivité

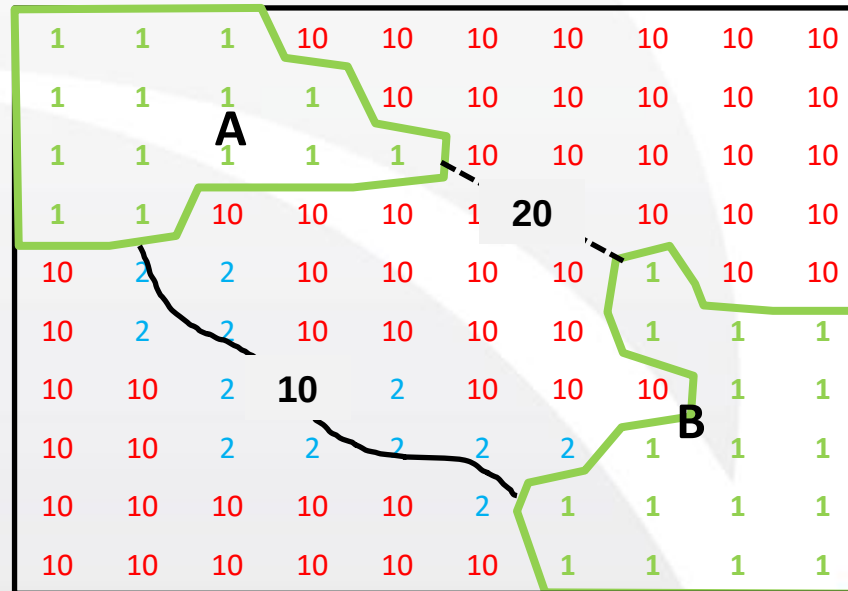
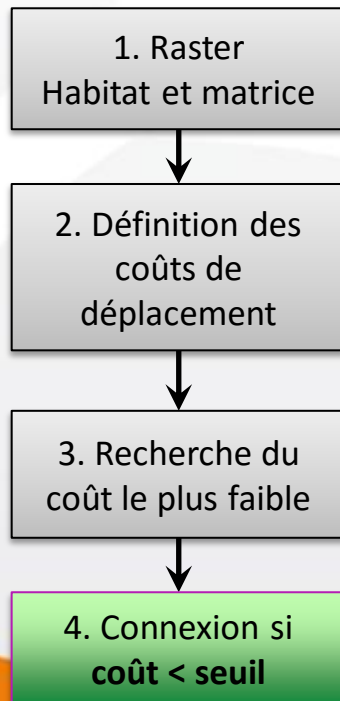
Hypothèse de départ

Le coût de déplacement diffère en fonction du « gradient forêt »

- Coût élevé pour sols nus
- Coût moyen en formation végétale forestière (maquis arboré...)
- Coût faible en forêt dense

Paramètres de degrés de connectivité entre 2 fragments forestiers :

- Distance entre fragments forestiers (bords à bords)
- Type d'habitat entre les fragments



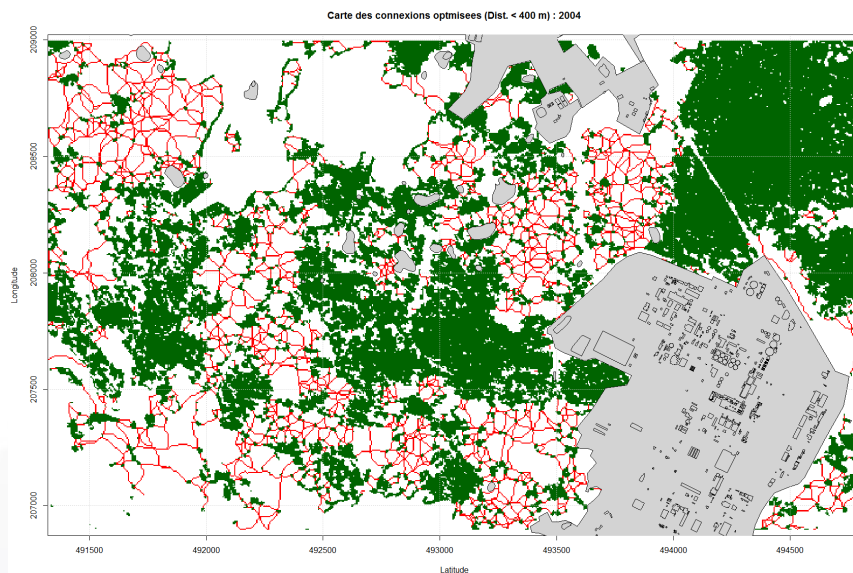
Exemple ici 3 classes de végétation dans la classification forêt/non forêt

1 → Forêt → Habitat de poids = 1
2 → Maquis → Matrice de poids = 10
3 → Form. Arborées → Matrice de poids = 2

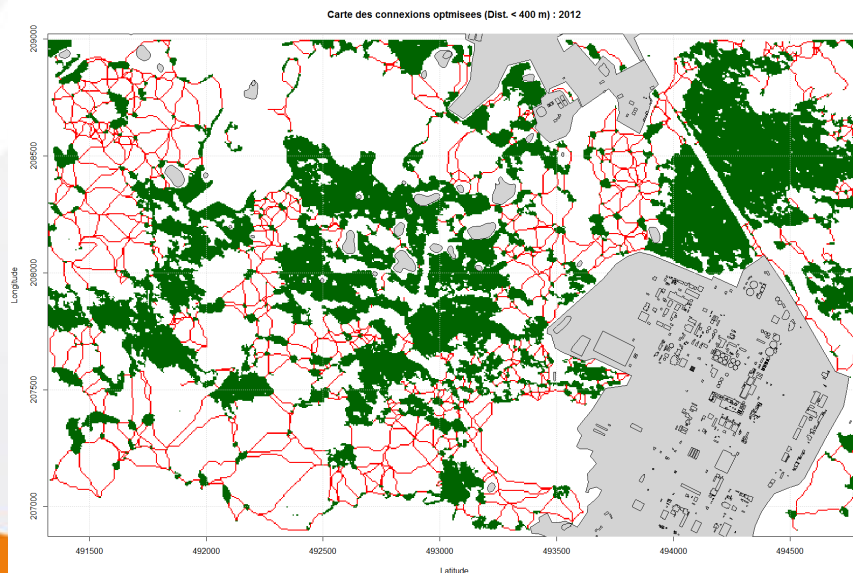
A et B sont des fragments forestiers

Indice de connectivité pour un seuil fixé à 400m (arbitraire)

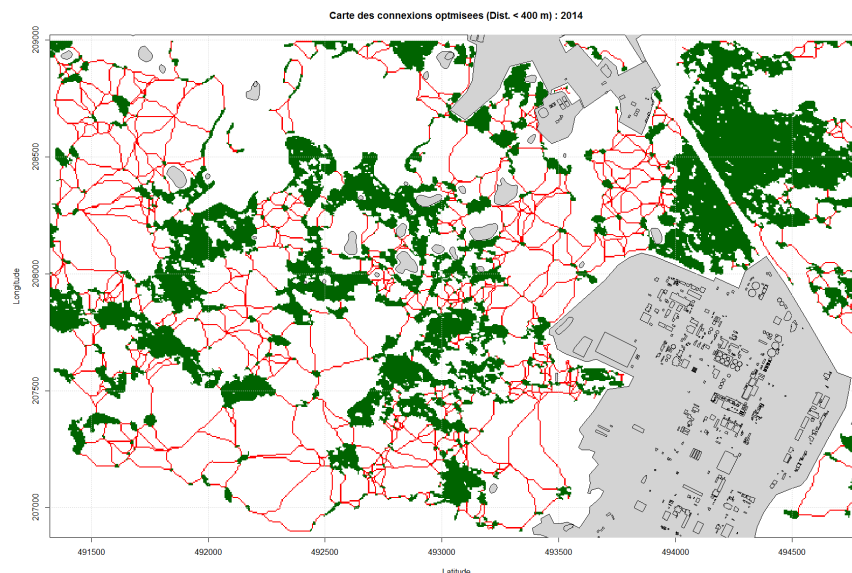
Résultats



2004



2012



2014



Package 'grainscape'

Type Package

Title Grains of connectivity and minimum planar graph modelling of landscape connectivity (Windows only)

Version 0.2

Date 2013-01-14

Author Paul Galpern, Andrew Fall, Micheline Manseau

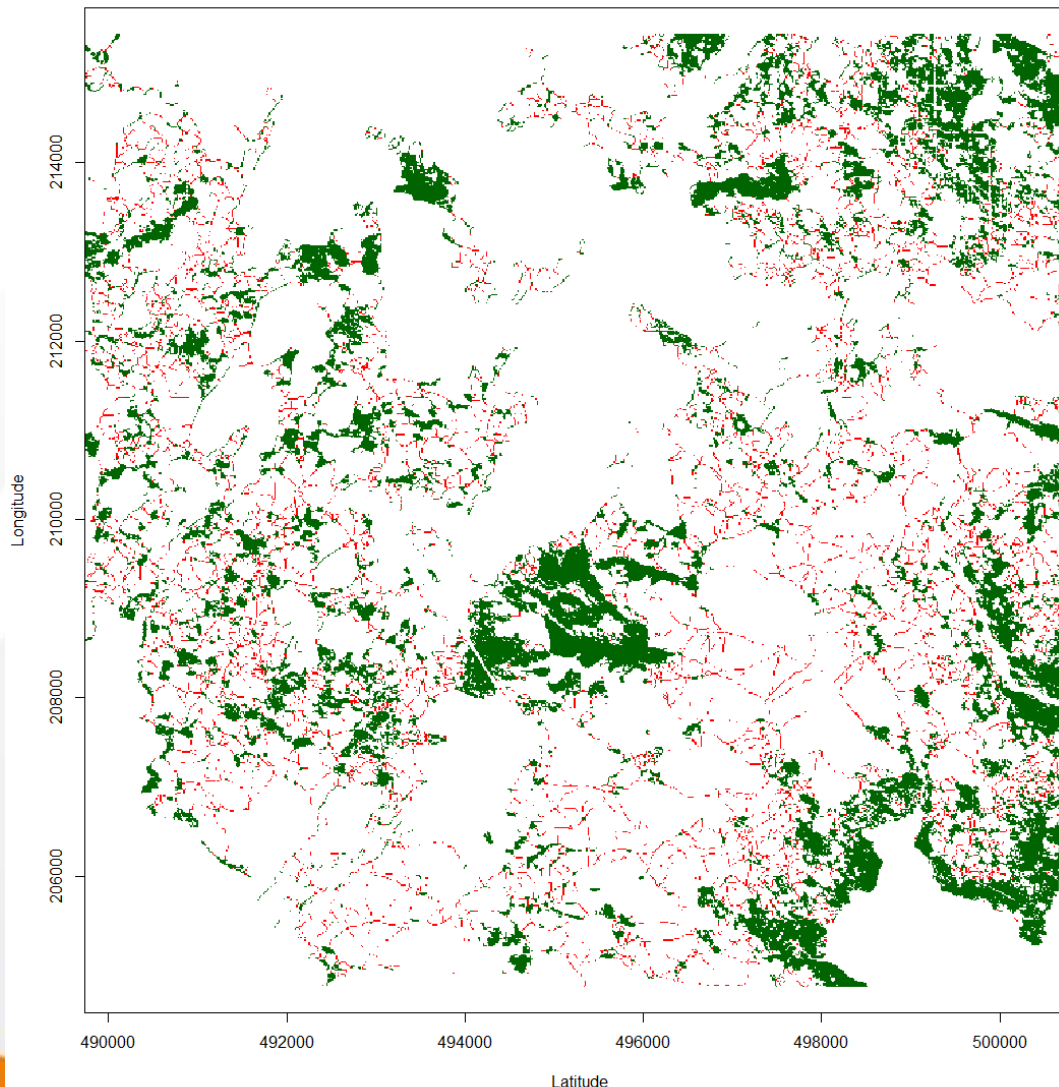
Maintainer Paul Galpern <pgalpern@gmail.com>

Description Given a landscape resistance surface, creates grains of connectivity and minimum planar graph models that can be used to calculate effective distances for landscape connectivity at multiple scales. Distributed with SELES (Spatially Explicit Landscape Event Simulator) software. The package will currently run only on a Windows-based platform.

Indice de connectivity pour les seuils maximum par année

Définition du seuil maximum = seuil à partir duquel le nombre de connexion est le plus important

Carte des connexions optimisees (Dist. < 1132 m) : 2014



Maximum threshold for 2004 = 550 m
Maximum threshold for 2012 = 995 m
Maximum threshold for 2014 = 1132 m

Seuil maximum augmente
=>Distance entre les patches
forestiers tend à accroître
Maximum threshold increase

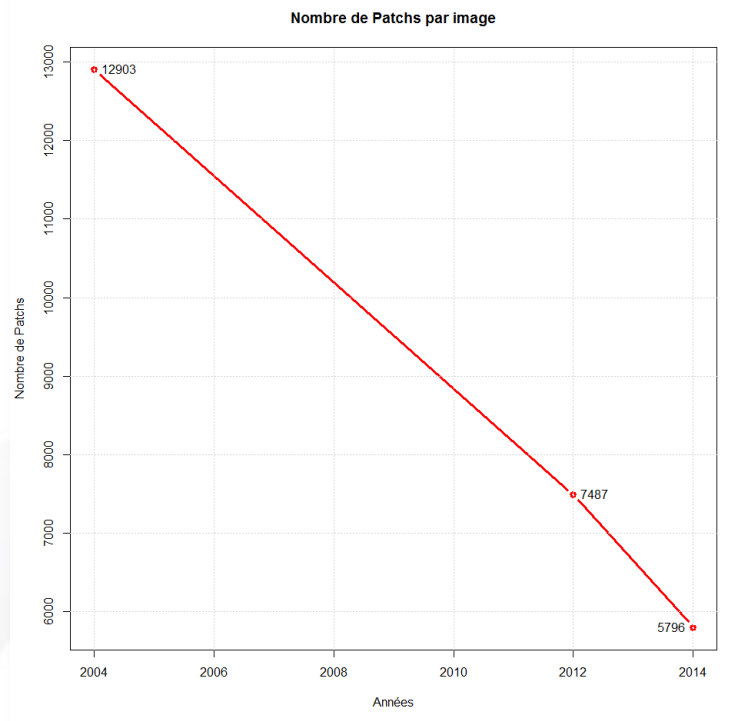


**Accroissement de la
fragmentation**

2014 (Threshold = 1132m)

Indice de Connectivité

Résultats



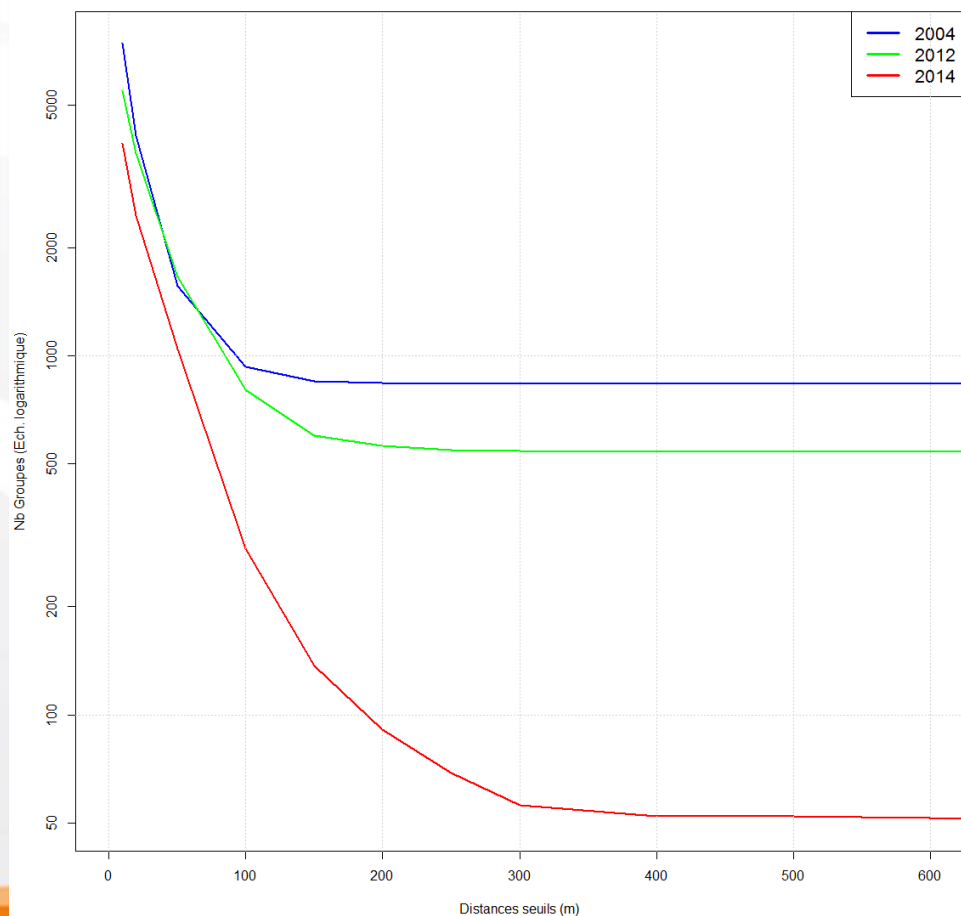
Cette diminution du nombre de patches est telle que le nombre de cliques (groupes de patches) décroît !

**Disparition des
patches forestiers**

Le nombre de patch (seuil = 400m)
décroît avec une accélération sur les 2
dernières années

- Perte de 677 patches/an entre 2004 et 2012
- Perte de 845 patches/an entre 2012 et 2014

**Augmentation de la
fragmentation**



- Indices pour la caractérisation de la structure des forêts
- Méthode robuste pour les gradients forestiers avec une série d'image satellitaire sub-métrique (homogénéisation initial radiométrique et géométrique du jeu d'image nécessaire) : méthode reproductible pour une surveillance de l'environnement
- Dégradation globale de la forêt dans cette zone d'étude sur cette décade (perte de 55% de superficie forestière) avec un taux de 1:5 (la re-végétalisation est 5 fois plus lente que la dégradation)
- Plusieurs facteurs aggravants de la dégradation forestière (héritage de l'exploitation forestières au 19^{ème} siècle, plus récemment les activités minières...)
- Accroissement de cette dégradation => disparition de la forêt dans le prochain centenaire

*ISRSE - The 37th International Symposium on Remote Sensing of Environment.
Tshwane, South Africa. 8-12 May 2017*



- Tests sur forêts sur substrat volcano-sédimentaires (Province Nord)
- Amélioration de la précision géographique (ortho-rectification)
- Diminution du masque Nuages/Ombres (application uniquement sur 2012 et 2014)
- Ajout de nouvelles images



Merci de votre attention

Projet **DYNAMIC**

DYNAMIQUE DE LA FRAGMENTATION DES **N**OY**A**UX DE FORÊT **H**U**M**IDE SUR SUBSTRATS
ULTRAMAF**I**QUES EN **N**O**U**VELLE-**C**ALÉDONIE

M. Despinoy (IRD)

M. Mangeas (IRD)

P. Birnbaum (Cirad)

L. L'huillier (IAC)

