



UNIVERSITE
DE TOULOUSE
LE MIRAIL

GEODE
GÉOGRAPHIE DE L'ENVIRONNEMENT
UMR 5602 CNRS



Université de Toulouse

MASTER 1

Mention
Spécialité

Géographie et Aménagement
Géographie de l'Environnement et du Paysage

Etat d'avancement

**DETECTION DES COUPES FORESTIERES ET DES PLANTATIONS
INDUSTRIELLES DANS LE SUD CONTINENTAL CHILIEN PAR
IMAGERIE MODIS**



FAYEL Jean-François

Sous la direction de :
Martin PAEGELOW
Nicolas MAESTRIPIERI

Soutenu le **30 juin 2014**

« Qui ne connaît pas la forêt chilienne ne connaît pas la planète. C'est de cette terre, de cette boue, de ce silence que je suis parti cheminer et chanter le monde »¹.

Pablo Neruda

¹ Pablo NERUDA (1987) « *J'avoue que j'ai vécu* »

S'étendant entre le 38^{ème} et le 55^{ème} parallèle sur plus de 1000 km, la forêt humide tempérée chilienne est reconnue pour sa grande biodiversité, abritant notamment des espèces endémiques telles que l'alerce, arbre disposant d'une très grande longévité malgré une pousse très lente. La « selve Valdivienne » constitue par ailleurs le lieu de vie de nombreux groupes indigènes tels que les mapuches.

Victime de nombreuses coupes forestières, la forêt tempérée fait aujourd'hui l'objet de profonds changements. Le bois des arbres de cette écorégion est en effet réputé pour sa qualité, notamment celui tiré de l'alerce. Si cette espèce est protégée quand elle est vivante, ce n'est pas le cas lorsque l'arbre est mort. C'est ainsi que de nombreux incendies sont provoqués afin de récupérer son bois. D'autre part depuis plusieurs dizaines d'années, la région voit l'apparition de plantations industrielles monospécifiques de pins et d'eucalyptus. Ces phénomènes remettent en cause la valeur patrimoniale et écologique de la région, provoquant une perte en biodiversité, l'apparition de problèmes d'érosion et d'appauvrissement des sols.

Pour quantifier ce phénomène dans la durée, le laboratoire GEODE mène plusieurs études : une thèse y a été soutenue (Maestriperi , 2012), des travaux d'avancement ont aussi été menés à l'occasion d'ateliers dans le cadre du programme du master GEP en 2014. Un autre travail cartographique a également été mené (Paegelow 2012) en s'appuyant sur des données satellitaires MODIS entre 2000 et 2008 pour établir une carte quantifiant les coupes forestières sur les régions VIII à X du Chili. L'objectif du travail présenté dans ce mémoire est de poursuivre cette étude en actualisant les données pour la période 2008 à 2013.

La première partie de ce mémoire consiste en une présentation de la zone et des données d'études. La seconde partie décrit la méthode de traitement des données. Une dernière partie traite enfin des résultats obtenus et de leur validation.

SOMMAIRE

Sommaire	5
I. Présentation du contexte d'étude.....	7
A. Le Chili, un pays de contraste	8
B. La zone d'étude	8
C. La forêt chilienne	11
1. La forêt humide tempérée.....	11
2. La dégradation de la forêt humide tempérée	13
a) Utilisation de la forêt.....	13
b) Dégradation	13
(1) Les incendies forestiers	13
(2) L'habilitation en terre agricole	14
(3) La substitution par des monocultures de pins et d'eucalyptus	14
c) L'impact des dégradations forestières	16
(1) Conséquences environnementales	16
(2) Conséquences socio-économiques	17
D. Travaux déjà réalisés sur la zone.....	17
E. Objectif.....	18
II. Méthodologie du traitement des données.....	19
A. Présentation des données étudiées.....	20
1. L'imagerie MODIS	20
a) Présentation	20
b) Choix des données.....	20
2. L'indice de végétation	21
B. Géotraitement des données téléchargées.....	22
1. Présentation des logiciels utilisés	22
a) IDRISI	22
b) Arcgis	22
c) Google Earth	23
2. Méthodologie du traitement des données.....	23
3. Conversion vers Idrisi	25

4.	Prétraitement sous Idrisi	25
5.	Création de la classification des images	27
	a) Type de classification choisie	27
	b) Méthodologie	28
III.	Traitement des données	30
IV.	31
A.	Analyse du graphique	32
	1. Analyse générale	32
	2. -Analyse des décrochages des classes 1, 4, 7, et 8	33
	3. Analyse de la classe 5 : tentative d'explication de la rupture d'indice de végétation de cette classe	34
B.	1 ^{ère} validation des données par comparaison sur google earth	35
C.	Simplification de la classification	39
D.	Validation des données	40
	1. Analyse statistique avec les données de l'INE	40
	2. Analyse quantitative	42
	a) Comparaison avec les données cadastrales	42
	b) Comparaison avec les données issues de l'imagerie Landsat de 2011	44
	Conclusion	46
	Bibliographie et sitographie	48
	Sources des photos des pages de garde:	49
	Liste des illustrations	50
	Liste des tableaux	51



PARTIE I

PRÉSENTATION DU CONTEXTE D'ÉTUDE

A. LE CHILI, UN PAYS DE CONTRASTE

S'étirant sur 4300 km du Nord au Sud, sur 180 km en moyenne pour une superficie de 756 950 km², le Chili se distingue par une grande variété de régions et de climats. Le Nord, avec le désert d'Atacama, se caractérise par son extrême aridité jusqu'au 26^{ème} parallèle Sud, tandis le Sud, dominé par la Patagonie dès la 41^{ème} latitude Sud, est composé de nombreux archipels, fjords, glaciers et forêts, et se distingue par d'importantes précipitations et un climat subpolaire arctique. Le centre du pays, autours de la capitale Santiago, se caractérise par un climat méditerranéen et la présence d'une vallée centrale concentrant la majorité de la population et de la production agricole.

Appartenant à la « Ceinture de Feu » du Pacifique, le pays est situé à proximité de la faille de Nazca. Il connaît donc une très importante activité sismique et compte de nombreux volcans. Le pays est constitué de deux chaînes de montagnes le parcourant du Nord au Sud qui occupent près de 80% du territoire. La cordillère des Andes à l'Est, au relief très important compte des sommets parmi les plus hauts du monde après l'Himalaya (certains atteignent plus de 6700 mètres comme le Llullaillaco), et sert de frontière naturelle avec les autres pays. La cordillère côtière qui longe l'océan Pacifique est bien moins élevée, ses sommets dépassant rarement les 2400 mètres. Entre ces deux massifs, se trouve une série de plaines aux reliefs variables.

B. LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude se situe au niveau des régions X et XIV, entre les 39° et 42° latitudes Sud. Elle dispose d'un climat océanique très humide, avec des précipitations toute l'année, en particulier sur les versants des montagnes. Ceci a favorisé le développement de forêts luxuriantes, notamment la forêt tempérée humide Valdivienne.²

Le travail réalisé sur la période 2000 à 2008 couvre une zone allant de la région VIII à X. Il fut cependant décidé de cibler l'analyse sur les Xème et XIVème régions.

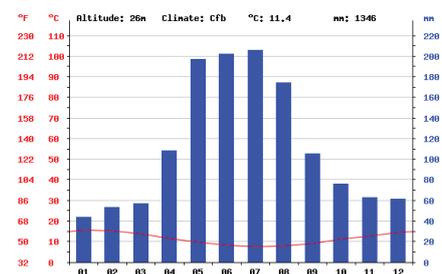


Figure 1: diagramme climatique de la ville d'Osorno (Région X) (source climate_date.org)

² Sources : http://www.meteochile.cl/climas/climas_decima_region.html#a, C. RUDEL, *Le Chili*, édition Karthala, <http://fr.climate-data.org/location/5063/>



Figure 2: Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude des données de 2000-2008 s'étend sur plus de 1000 km du nord au sud. Avec un tel écart de latitudes, on peut craindre une trop grande amplitude du calendrier phénologique de la zone selon la saison. L'étude sur une zone plus petite est donc privilégiée.

En outre plusieurs travaux ont ciblés sur les régions X et XIV, notamment :

- l'atelier de master GEP portant sur l'extraction des forêts natives et industrielles au niveau de la XIVème région à partir d'images Landsat réalisé en mars 2014 ;

- le travail de thèse de Dario Toro Balbontin (pas encore publiée au moment de la rédaction de ce rapport) sur l'étude de la forêt native, particulièrement au niveau de la Xème région

Les résultats tirés de ces travaux pourraient être comparés avec les données extraites de cette étude. Les régions X et XIV furent donc choisies comme zone d'étude.

En outre, les seules parties étudiées concernent la précordillère et la cordillère littorale ; les Andes et le littoral sont donc exclus.

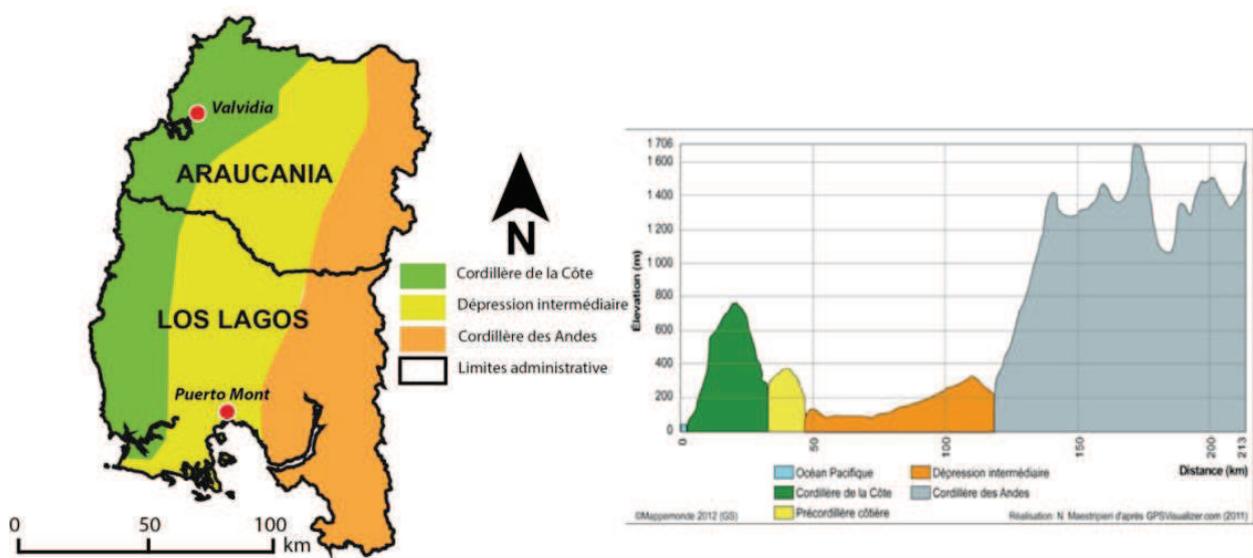


Figure 3: Profil topographique (parallèle 41,7° Sud) au niveau des régions X et XIV (source M.Paegelow)

C. LA FORET CHILIENNE

1. La forêt humide tempérée

Deuxième plus grande forêt humide au monde après celle de la côte pacifique d'Amérique du Nord, la selve Valdivienne couvre 85% de la superficie totale des forêts chiliennes, le reste étant occupé par 15% de plantations. Elle se localise majoritairement le long de la Cordillère Côtière et au pied des Andes.

Tableau 1: Répartition de la forêt sur le territoire Chilien en 2010 (source rainforest.mongabay)

Répartition des forêts Chilienne en 2010		Superficie (ha)	Superficie (%)
Forêt humide tempérée	Primaire	4 439 000	27
	Naturellement régénérée	9 408 000	58
Forêt plantée		2 384 000	15

Situé entre le 38^{ème} et le 55^{ème} parallèle sud, la forêt tempérée humide est délimitée climatiquement au nord par le désert d'Atacama et le matorral, au sud par la toundra Patagonienne, à l'est par la cordillère des Andes, et à l'Ouest par l'océan Pacifique. C'est donc un véritable « îlot biogéographique », isolé des autres biomes forestiers d'Amérique du Sud.

Se caractérisant par une forte biodiversité, elle dispose d'un fort endémisme d'espèces végétales et animales (allant jusqu'à 50% pour certaines régions). Elle est d'ailleurs située au sein même d'une des 238 Ecorégions certifiées par la WWF : « la forêt humide et tempérée de Valdivia ». L'Ecorégion se définit comme étant une zone géographique regroupant un assemblage géographiquement distinct de communautés naturelles qui partagent une grande majorité de leurs espèces et de leurs dynamiques écologiques. Cette écorégion, particulièrement menacée, fait l'objet d'une des plus fortes priorités de conservation et de restauration dans le monde, et fait partie des 25 hotspots de conservations les plus sensibles.³

³ <http://www.worldwildlife.org/ecoregions/nt0404>

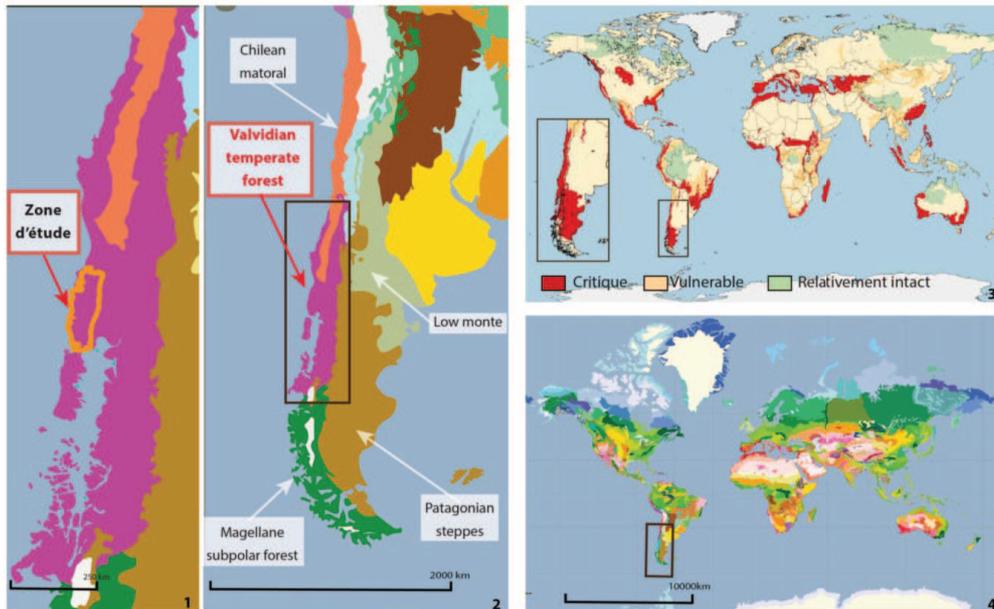


Figure 3 : Image 1: Localisation de la zone d'étude, image 2: localisation de l'écorégion, image 3: représentation des différents hotspots de conservation, image 4: l'ensemble des écorégions dans le monde (source WWF)

La forêt tempérée abrite au niveau de la faune : 38 espèces de mammifères, 60 d'oiseaux, 14 de reptiles, 30 d'amphibiens et entre 300 et 400 espèces d'insectes. Vis-à-vis de la flore, on compte 443 espèces de plantes vasculaires incluant 44 espèces d'arbres, 81 d'arbustes et 22 de liane, ainsi que 80 espèces de lichen et 70 de mousses. Parmi différentes espèces endémiques de la selve valdivienne, l'alerce en est le plus emblématique. Cet arbre pouvant atteindre plus de 50 mètres de hauteurs est capable d'atteindre une durée de vie de plus de 3000 ans. Grandissant en moyenne de 1,1 mm par ans, l'alerce dispose d'une très lente croissance. Son bois, de qualité exceptionnelle, est très recherché notamment pour son imputrescibilité.⁴



Figure 4: Un alerce (source <http://www.touristlink.com> (CC))

⁴ N. MAESTRIPIERI, Thèse 2012, *Dynamiques spatio-temporelles des plantations industrielles dans le sud chilien. De l'analyse diachronique à la modélisation prospective.*

2. La dégradation de la forêt humide tempérée

a) Utilisation de la forêt

La forêt humide dispose d'un important potentiel pour la gestion sylvicole à des fins de production, par l'exploitation d'arbres de plus de 8 mètres pour de multiples usages tels que la construction, le chauffage et l'industrie. L'alerce est particulièrement recherché. Cet arbre a fait l'objet d'une exploitation à partir du 19^{ème} siècle et était l'espèce la plus commercialisée, devenant une source de revenu pour les indigènes Mapuches. Durant le 20^{ème} siècle, l'économie forestière de service devient une économie industrielle, tournée vers l'exportation. Cependant l'alerce est officiellement protégé depuis 1976 par le Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), mais continue de faire l'objet d'exploitations illégales⁵.

b) Dégradation

Entre 1985 et 1994, 221 990 hectares de forêts naturelles ont disparu. Parmi celles-ci, 3% sont dues à des coupes illégales, 16% des incendies, 18% à l'habilitation et 63% à la substitution.⁶

(1) Les incendies forestiers

Table 1: Représentation des surfaces incendiées en hectares sur les Régions X et XIV, ainsi qu'à l'échelle nationale (source INE)

	Surface en ha					
	Plantations	forêt naturelle	Matorral	Pâturages	Autre	Total
Region XIV	3 469,54	5 499,53	5 388,20	2 731,48	7 162,89	24 251,64
Région X	1 586,26	70 186,85	20 391,00	4 269,34	3 840,25	100 273,70
TOTAL NACIONAL	355 536,04	338 005,48	398 933,28	411 369,83	117 483,65	1 621 328,29

Comme le présente le tableau 1 décrivant les surfaces incendiées sur l'ensemble du pays et sur les régions X et XIV, les incendies sont une cause importante de dégradation forestière. Ils sont dans leur très grande majorité d'origine anthropique. Les gens les déclenchant en grande partie pour nettoyer leur terrain à des fins d'exploitation agricole, en particulier pour la préparation de futures plantations forestières.⁷

⁵ MAESTRIPIERI 2012

⁶ MAESTRIPIERI 2012

⁷ MAESTRIPIERI 2012

(2) L'habilitation en terre agricole

L'« ouverture des champs » est la principale cause de déforestation en Amérique Latine. L'habilitation des terres a notamment été très répandue au cours du 19^{ème} siècle et de la première moitié du 20^{ème} siècle. Cette pratique s'est faite surtout sur des sols d'origine forestière. Cependant ce type de sol n'était pas assez riche pour l'activité agricole pratiquée, provoquant sa dégradation et son improductivité. Entre 1985 et 1994, ce sont 40 509 ha de terres forestières qui furent habilitées à l'échelle nationale.⁸

(3) La substitution par des monocultures de pins et d'eucalyptus

Depuis les années 70, les plantations forestières d'espèces exotiques, notamment de pins et d'eucalyptus sont devenues la principale cause de destruction de la forêt naturelle. Selon la CONAF, la substitution de la forêt humide par des plantations forestières expliquerait 60% de la réduction des surfaces de forêt naturelles. Sur le graphique présenté ci-dessous, on constate qu'entre 1990 et 2010, si le couvert forestier global du Chili a évolué, c'est en particulier du aux plantations qui sont passées de 1707000 ha en 1990 à 2384000 ha en 2010.

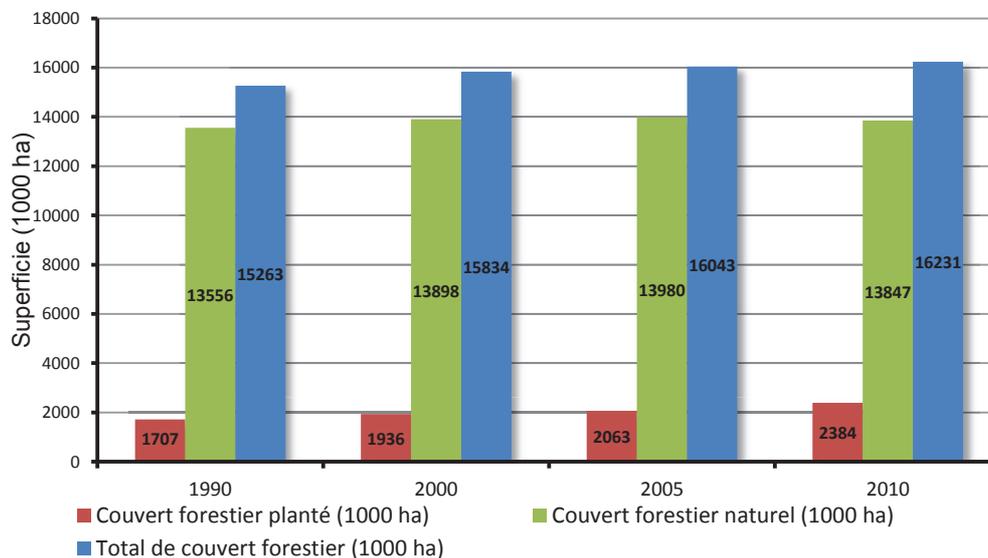


Figure 5 Evolution du couvert forestier Chilien entre 1990 et 2010 (Source www.Rainforest.mongabay.com)

⁸ MAESTRIPIERI 2012

Les espèces plantées sont quasi exclusivement du Pin (*Pinus radiata*) et deux types d'eucalyptus (*Eucalyptus globulus* et *Eucalyptus nitens*), représentant notamment 92% des surfaces plantées dans la région de Los Rios (Xème région).⁹ Elles s'étendent en particulier dans les régions VII à X, à l'intérieur desquelles elles se concentrent dans la précordillère et la cordillère côtière sur une bande de quelques dizaines de kilomètres.



Figure 6 A gauche, *Pinus radiata*, à droite, *Eucalyptus globulus* (source N. Maestriperi (SD))

Les plantations d'espèces exotiques ont commencé à apparaître dès 1895. Elles s'accroissent dès le début du 20^{ème} siècle par l'intermédiaire de l'entreprise Lota suite à l'épuisement des forêts natives dans la région de Concepción (VIII^{ème} région). L'activité prit une autre dimension à la suite du coup d'Etat du général Pinochet en 1973. Ce dernier fait voter une loi pour inciter les plantations (loi 701). Le Chili passe alors en moins de dix ans à une économie de marché, accompagné d'une importante vague de privatisation. On passe ainsi à une replantation industrielle intense en pins et eucalyptus pour l'exportation vers l'étranger : principalement vers le Japon jusqu'au milieu des années 90 (pour l'industrie de la pâte à papier), puis vers les Etats-Unis à partir 1998 et la Chine depuis 2004. Ayant à l'origine peu d'impact sur l'économie Chilienne, l'industrie forestière est aujourd'hui le second secteur exportateur derrière l'activité minière.¹⁰

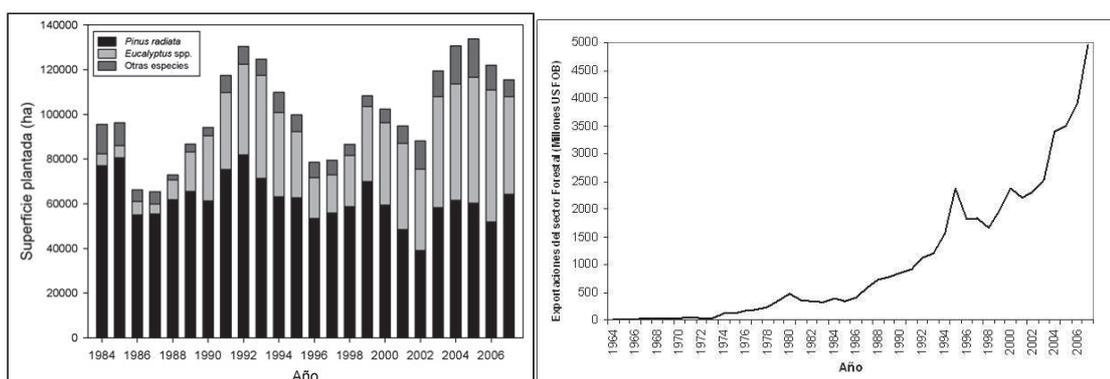


Figure 7 A gauche, part du type d'espèces plantés par ans ; à droite, évolution des importations de bois de 1964 à 2006 (source : INFOR, Frêne Conget y Mariela Núñez Ávila 2010)

⁹ M. Paegelow 2012

¹⁰ N. MAESTRIPIERI 2012

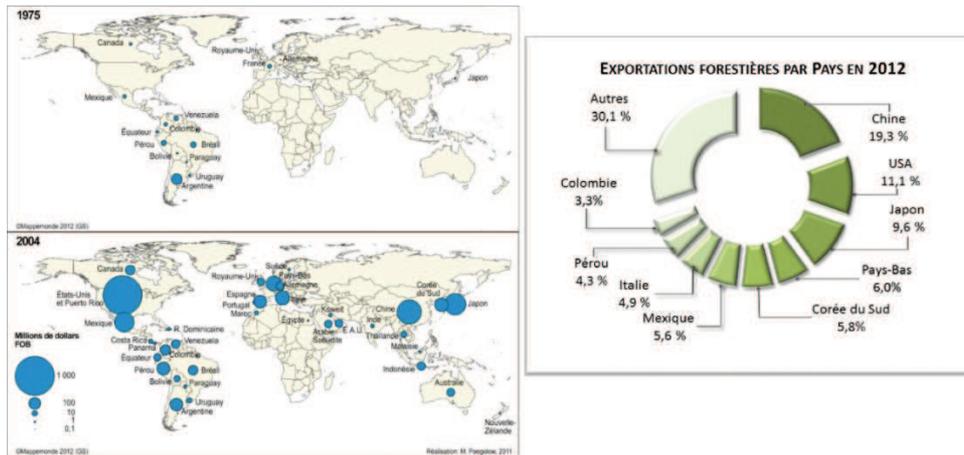


Figure 8 Part des exportations de bois par pays en 1975, 2004 et 2012 (Source INFOR 2012, PAEGELOW 2012)

c) *L'impact des dégradations forestières*

(1) *Conséquences environnementales*

L'implantation de cultures de pins et d'eucalyptus a eu pour conséquence une nette diminution de la biodiversité. Au niveau floristique, la diversité arbustive et herbacée accuse une perte entre 10 et 58% lors de la première rotation et jusqu'à 70% lors du cycle. La faune est aussi impactée, sa diversité y étant réduite de moitié. Plusieurs espèces se voient menacées par les plantations telles que le Pudù, le Guina, le Gato colo colo...



Figure 9: Une coupe forestière dans la commune de La Union (source N. Maestripiéri (SD))

Les plantations ont aussi eu un impact considérable sur la ressource hydrique. Elles causent en effet l'assèchement des nappes phréatiques et ont un effet direct sur la réduction du ruissellement estival. Ainsi une augmentation de 10% en surface de plantation provoquerait la diminution de 20,4% de ruissellement estival.¹¹

¹¹ Maestripiéri N. 2012

(2) Conséquences socio-économiques

L'augmentation de plantations de pins et d'eucalyptus a eu un important impact sur le mode de vie des communautés Mapuches. Ces dernières se sont souvent vu évincées de leurs terres (par vente, baux...) pour favoriser la mise en place des plantations. Ce qui a provoqué un bouleversement de leur situation sociale et économique, ayant pour conséquence une augmentation du chômage et une perte identitaire.

D. TRAVAUX DEJA REALISES SUR LA ZONE

Divers travaux ont déjà été réalisés dans la zone, notamment :

- Une recherche fut effectuée à l'occasion d'un atelier du master 1 GEP en 2014. Ce travail porte sur l'évolution des forêts naturelles et des plantations d'eucalyptus et de pins dans la région XIV, à partir d'images satellitaires Landsat de 1998, 2005, 2011 de résolution 30x30 mètres. Sur chacune de ces images, une classification supervisée fut faite afin de différencier entre autre les forêts naturelles et les plantations. Les résultats de ce travail furent contrastés. Si les images de 1998 et 2011 ont donné des résultats convenables, ce n'est pas le cas de l'image de 2005. En outre, la comparaison des données obtenues avec celles statistiques de l'INE est mauvaise. Néanmoins la juxtaposition sur Google Earth et avec le cadastre de la CONAF fut assez bonne. Une carte établissant l'évolution des forêts naturelles et des plantations entre 1998 et 2011 fut établie
- Une autre étude a porté sur la détection des plantations à partir d'imagerie MODIS. Réalisée par Martin Paegelow, Nicolas Maestriperi, Nicolas Saez illalobos et Dario Toro Balbontin, cette étude consiste à repérer et cartographier les plantations et les forêts naturelles au niveau de la cordillère littorale des régions VIII à X à partir de l'indice de végétation NDVI du satellite MODIS sur la période 2000 à 2008. S'il s'est avéré que MODIS ne dispose pas de la précision nécessaire pour distinguer les plantations de la forêt naturelle, il a cependant permis de mettre en avant les coupes forestières, inhérente en grande majorité aux plantations, sur la période étudiée. MODIS a en outre permis de déterminer à une échelle régionale les forêts du reste de l'occupation du sol. Une suite de ce travail serait d'étendre l'analyse sur une plus grande période, afin de pouvoir couvrir toute la durée de vie des plantations (en l'occurrence 8-10 ans pour une plantation d'eucalyptus).

E. OBJECTIF

Le principal objectif consiste à repérer à partir de l'imagerie MODIS les forêts et coupes forestières de la zone d'étude sur la période 2008-2014. Cette tâche rentre très clairement dans la continuité des travaux réalisés sur la période 2000-2008. Le premier point consista donc à établir une cartographie spatio-temporelle de la zone distinguant les forêts et coupes forestières. Celle-ci doit se faire à partir d'images tirées de MODIS ayant chacune un écart d'environ 2-3 mois. Il faudra ensuite confronter ces résultats avec d'autres données : statistiques, Cadastre forestier, Imagerie Google Earth et imagerie Landsat... ceci afin d'évaluer et valider sa précision. Ils pourront aussi être associés aux données de 2000-2008.

The image shows a steep, forested mountain slope. The upper part of the slope is covered in dense, vibrant green trees, while the lower part shows more sparse vegetation and some bare tree trunks. A bright green horizontal banner is positioned across the upper middle of the image, containing the text 'PARTIE II' in white, bold, sans-serif capital letters. Below this banner, a semi-transparent white rectangular box contains the text 'TRAITEMENT DES DONNÉES' in green, bold, serif capital letters. The overall scene is bright and natural, suggesting a high-altitude or mountainous environment.

PARTIE II

**TRAITEMENT DES
DONNÉES**

A. PRESENTATION DES DONNEES ETUDIEES

1. L'imagerie MODIS

a) Présentation

MODIS (Moderate Resolution imaging Spectroradiometer) traduisible en français par « Radiomètre spectral pour l'imagerie de résolution moyenne » est un ensemble d'instruments d'observation de la Terre placé sur les satellites Terra (lancé en 1999) et aqua (lancé en 2002), mis en orbite à 705 km de la Terre. MODIS est notamment conçu pour fournir des mesures éclairant sur des dynamiques mondiales de grande envergure telles que la couverture nuageuse ou le bilan radiatif.

Pouvant capturer dans 36 bandes spectrales des longueurs d'ondes comprises entre 0,4 et 14,4 μm , le capteur MODIS dispose d'une résolution de 250 mètres sur les 2 premières bandes, 500 mètres sur les bandes 3 à 7 et 1 km pour le reste.

. De plus les images tirées depuis ce capteur renseignent aussi le taux de couverture nuageuse pour chaque zone enregistrée. Ces caractéristiques sont très utiles dans l'analyse des régions du Chili très souvent couvertes de nuages.

L'utilité de ces images dans notre étude repose notamment sur l'analyse du couvert de végétation de la zone d'étude. Ceci impose de sélectionner les canaux rouges et proches infrarouge afin de déterminer un indice de végétation NDVI (principe expliqué dans une des sous parties suivantes). Il se trouve que MODIS dispose de ces deux canaux dans la résolution maximale du capteur, à savoir 250m x 250m par pixel.

b) Choix des données

Les images MODIS possèdent l'avantage d'être totalement gratuites et accessibles par tout le monde. Elles se récupèrent sur des sites tels que celui d'eosdis nasa¹². Ce site regroupe des résumés bihebdomadaires (tous les 16 jours), constitués des meilleurs enregistrements qualitatifs effectués sur cette durée. Ces résumés sont sous la forme de dalles de dimension 250 par 250 km. Doté d'une projection géographique sinusoidale, elles sont téléchargeables dans le format hdf, contenant plusieurs canaux : bleu, rouge, proche infrarouge, moyen infrarouge, ainsi que des canaux d'indices calculés à partir des précédents : EVI et NDVI.

Dans le cas traité, la région s'étend sur deux dalles qui seront assemblées lors de leurs géotraitement. Les références des dalles téléchargées sont présentées annexe.

¹² http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/#utf8=%E2%9C%93&spatial_map=satellite&spatial_type=rectangle

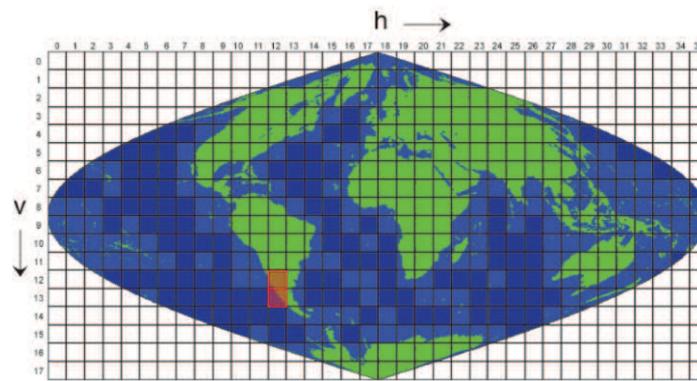
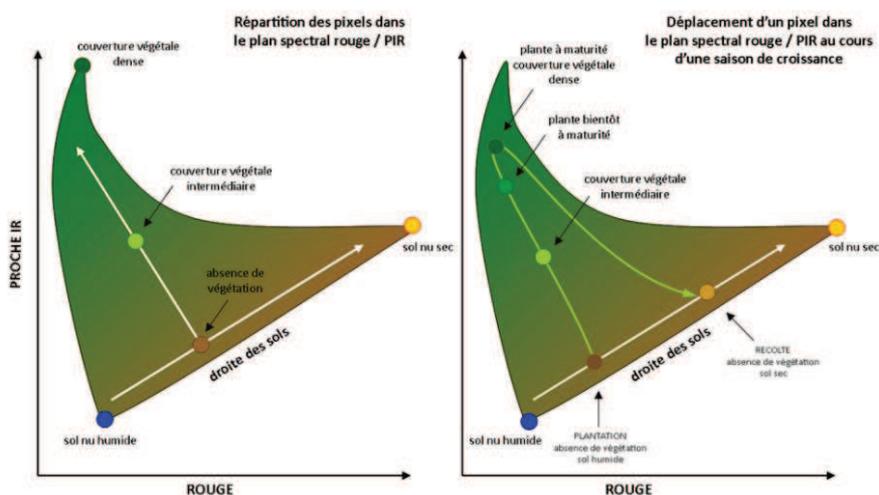


Figure 10: Tuiles MODIS en projection sinusoidale. Les 2 dalles rouges concernent la zone d'étude (source NSIDC)

2. L'indice de végétation

Le principe de l'étude repose sur l'analyse des couvertures chlorophylliennes des images MODIS. Cela revient à déterminer un indice de végétation caractérisant pour chaque pixels sa proportion chlorophyllienne. Son calcul s'appuie sur les écarts de réflectances constatés entre les différentes bandes spectrales. En l'occurrence, la réflectance dans les bandes infra-rouges est forte en présence de végétation, alors qu'elle diminue dans le rouge. La figure 11, représentant un Scattérogramme des bandes spectrales dans rouge et dans le proche infrarouge, décrit la répartition des valeurs de réflectance.¹³



Réflectance :

Capacité intrinsèque d'un objet de la surface terrestre à réfléchir un rayon électromagnétique pour une longueur d'onde donnée.

Scattérogramme :

Représentation particulière qui permet d'illustrer la répartition des valeurs spectrales d'une image dans deux bandes spectrales à la fois

Figure 11: répartition spectrale des réflectances dans le rouge et le proche infrarouge

¹³ LE CORRE S. *GEO012X Initiation aux photographies aériennes* UT 2 le Mirail ; <http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/vegetation/indices/index.html>

Plusieurs types d'indices de végétation existent : l'indice différentiel de végétation (DVI), l'indice de végétation par quotient (RVI)... Il ne sera ici expliqué que l'indice de végétation par différence normalisé (NDVI), correspondant à l'indice choisit pour cette étude.

LE NDVI est l'indice le plus connu et utilisé, il se caractérise par la formule suivante :

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

PIR= le canal Proche InfraRouge
R= le canal Rouge

Les valeurs d'NDVI sont comprises entre -1 et 1. Les valeurs négatives correspondant à des surfaces types eau, neige, nuages..., c'est-à-dire les surfaces présentant une réflectance supérieure dans le rouge que dans le PIR. Les valeurs proches de 0 caractérisent les sols nus, ayant des réflectances entre le rouge et le PIR similaires. Enfin les valeurs positives indiquent les formations végétales. Plus elles tendent vers 1 et plus leur couvert est dense.¹⁴

L'imagerie MODIS a l'avantage de posséder le NDVI parmi ses canaux, ce qui facilite ainsi son traitement.

B. GEOTRAITEMENT DES DONNEES TELECHARGEES

1. Présentation des logiciels utilisés

a) IDRISI

IDRISI est un logiciel de traitement combinant un SIG et un système de traitement d'images, proposant plus de 250 modules pour l'analyse et la visualisation des informations numériques spatiales. Des outils pour la planification spatiale, l'aide à la décision, l'analyse des risques sont associés à des outils pour produire des statistiques spatiales, des analyses et modélisations spatiales. Avec IDRISI toutes les fonctionnalités d'analyse sont en standard.

b) Arcgis

ArcGis: est un logiciel de traitement et de représentation SIG complet permettant de travailler sur des images satellites ou sur tout autre type d'information géographique. Ses fonctions sont multiples. Elles permettent entre autre de compiler les données, de traiter l'information en couches (vecteur ou raster), de réaliser des cartes thématiques, de partager sur de multiples supports une information géographique modifiable en temps réel par plusieurs utilisateurs et de prendre en compte de nombreux formats de couches.

¹⁴ <http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/vegetation/indices/index.html>

c) Google Earth

Google Earth: Cette application permet d'avoir une vision multi- scalaire de l'ensemble de la surface terrestre grâce à un assemblage de photographies aériennes et d'images satellites. La qualité et la résolution des images varient grandement en fonction de la région concernée, mais pour chaque emplacement le logiciel affiche les coordonnées géographiques exactes. Ses diverses fonctionnalités permettent à l'utilisateur de naviguer aisément dans le temps et dans l'espace. Avec plus d'un milliard de téléchargements, il dispose d'un Système d'Information Géographique (SIG) le plus utilisé du monde. Dans l'étude réalisée, ce logiciel fut utilisé pour la validation des données.

2. Méthodologie du traitement des données

Un premier traitement est tout d'abord réalisé sous Arcgis. Celui-ci consiste à modifier la géométrie de l'image afin de la rendre exploitable.

Le premier traitement concerne la fusion des deux dalles, contenant la zone d'étude, en une seule.

Celle-ci se fait à partir de l'outil « Mosaïque vers nouveau raster » présente dans l'Arctoolbox d'Arcgis.

Le second traitement passe par le géoréférencement de l'image, c'est-à-dire de la conversion de l'image, alors dans un système de projection sinusoidal, vers la projection WGS 84 UTM 18 sud.

Cette opération se fait à partir de l'outil « projeter un raster » de l'arctoolbox. Une autre méthode, plus pratique pour ce traitement, consiste à réaliser le géoréférencement en même temps que la fusion des dalles, l'outil « Mosaïque vers nouveau raster » proposant en option de projeter l'image rendue.

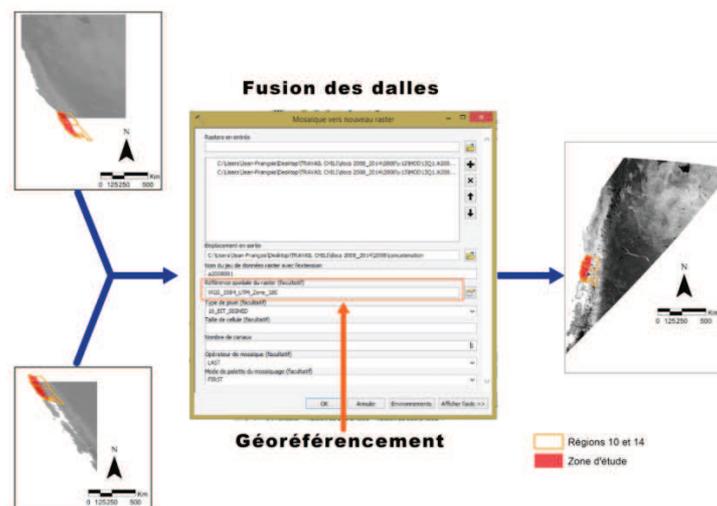


Figure 12: fusion des dalles et géoréférencement de l'image a2008001 (du 01 janvier 2008)

L'image est ensuite découpée à partir : d'une part des régions X et XIV et d'autre part d'une couche excluant le littoral et les Andes.

Ce traitement s'effectue à partir de la commande « découper raster » depuis l'arctoolbox

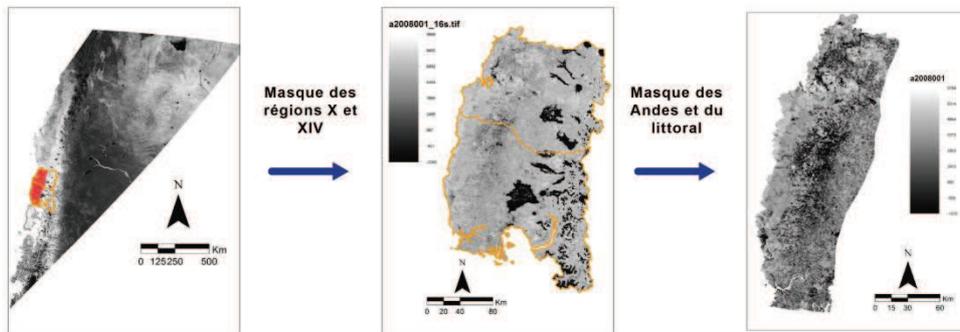


Figure 13: découpage de l'image a2008001 (datant du 01 janvier 2008) en fonction des masques des régions X et XIV et des Andes et du littoral

Afin d'optimiser le traitement de masse (ce sont plus de 30 dates à traiter), le traitement des images s'est effectué à l'aide d'un modelbuilder. Cet outil consiste à assembler en un seul modèle plusieurs étapes du géotraitement (à savoir la fusion, le géoréférencement et la découpe), et ainsi les exécuter en une fois. La séquence présentée par la figure 14 ne permet le traitement que d'une seule date. Néanmoins, celle-ci peut être dupliquée afin de traiter plusieurs dates dans un seul modelbuilder (figure 15)

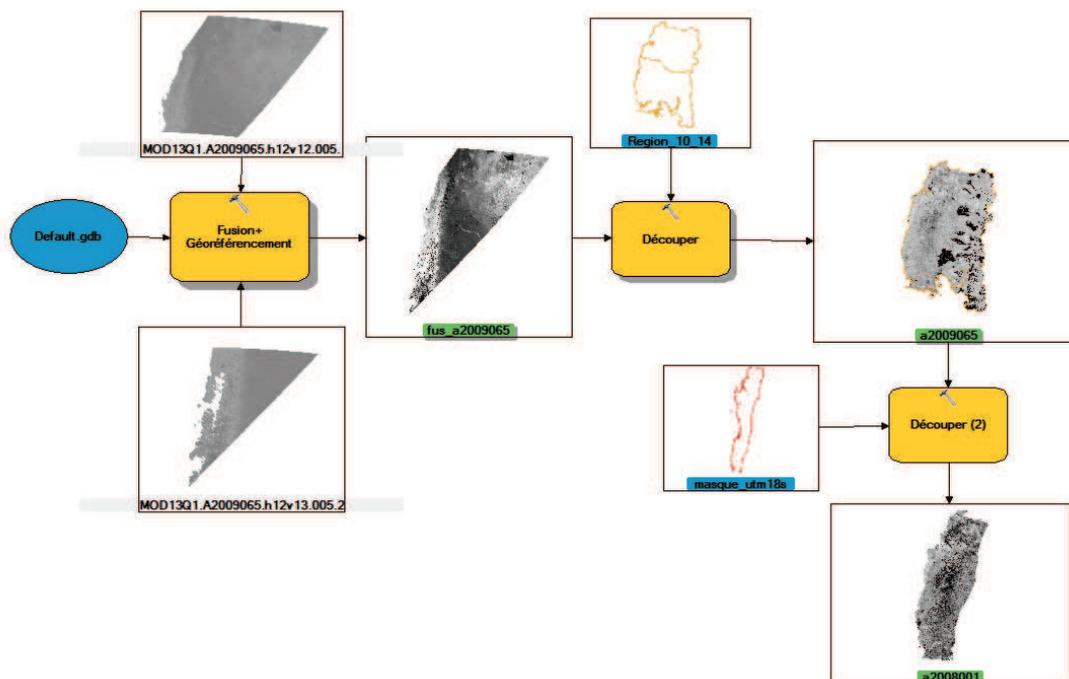


Figure 14: la composition d'un modelbuilder

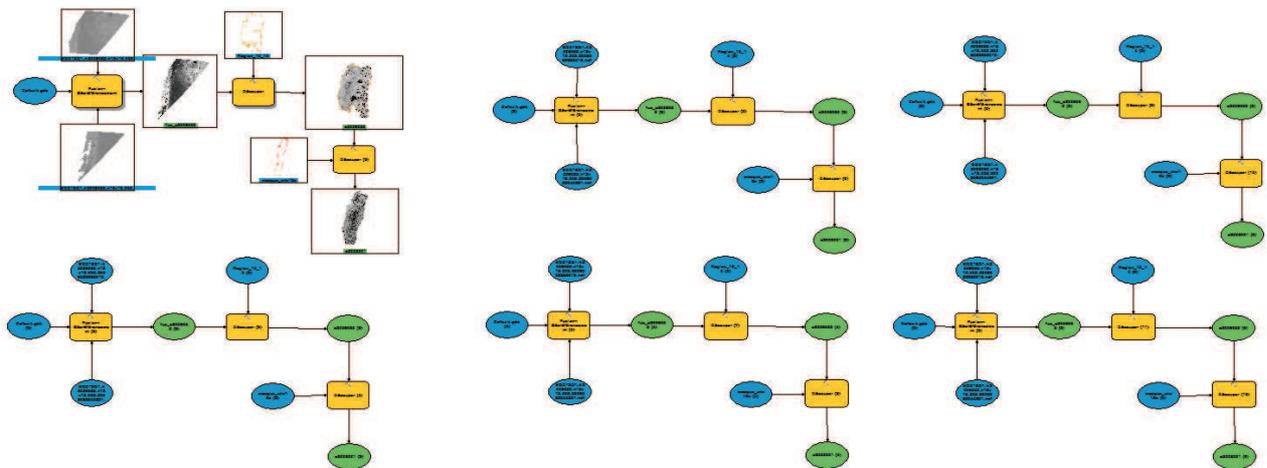


Figure 15: 6 séquences pour le traitement de 6 dates

3. Conversion vers Idrisi

Le logiciel Idrisi est utilisé pour poursuivre le traitement vers la classification. Il impose cependant son propre format raster : le rst. Il est donc nécessaire de préalablement convertir l'image tirée d'Arcgis sous ce format là avant de commencer le traitement. Cela passe dans un premier temps par une conversion de l'image au format ASCII afin de conserver son codage radiométrique de 16 bit (65536 niveaux de couleurs). Il se trouve que lorsque l'image est dans un autre format (TIFF, IMG, ENVI file...), le codage radiométrique de l'image s'en trouve faussé lors de la conversion vers le format RST.

4. Prétraitement sous Idrisi

Afin de pouvoir coller aux images qui ont été créées lors du précédent travail sur la période 2000-2008, chaque raster est reclassé, afin de ramener leur codage radiométrique de 65536 classes à 256 (de 16bit vers 8 bits).

Il faut pour cela utiliser l'outil RECLASS dans lequel on précise les valeurs minimales et maximales de l'image de base (ce passage permet notamment de supprimer les valeurs négatives en les regroupant dans la valeur minimale 0), ainsi que le nombre de classes.

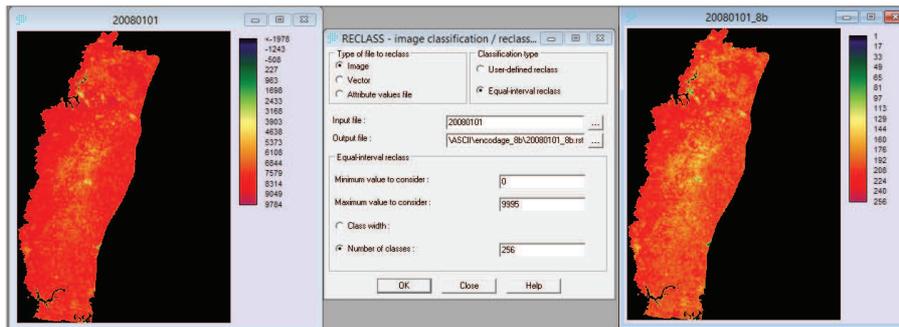


Figure 16: à gauche, l'image 20080101 codé en 16 bits, au centre la commande de reclassement, à droite, la même image classée en 8 bits.

Les classes sont ensuite décalées d'une valeur, passant d'un intervalle de 1 à 256 vers celui de 0 à 255. Ce traitement est effectué par l'outil SCARE

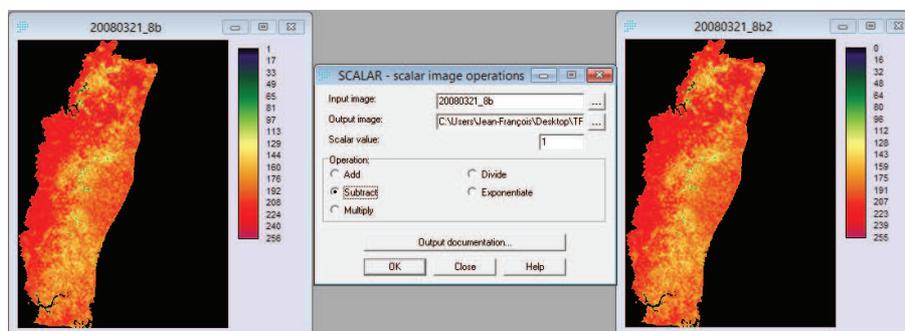


Figure 17: L'image 20080321 avant (à gauche) et après décalage (à droite)

Une fois le traitement effectué sur toutes les images, celles-ci sont regroupées en une image multicouche afin de préparer la classification. Au total, 32 images pour 32 dates composent cette concaténation.

Cette fonction s'exécute à partir de l'outil COLLECTOR EDITOR.

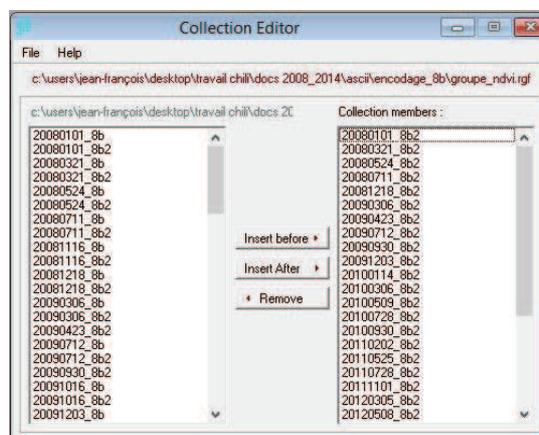


Figure 18: L'outil de concaténation des images, la colonne de droite représente l'ensemble des données qui composent l'image concaténée

5. Création de la classification des images

Le principe de la classification repose sur l'affectation en n classes de pixels de valeurs similaires. Dans ce cas-là, la classification de l'ensemble a pour but de mettre en avant 3 classes, représentant pour chacune un type de sol particulier :

- ceux ayant une forte activité chlorophyllienne constante dans le temps, c'est à dire les forêts ;

- ceux disposant d'une activité chlorophyllienne variable selon les saisons : les cultures annuelles et surface enherbées dans une moindre mesure ;

- ceux qui se caractérisent par une activité chlorophyllienne similaire aux forêts au début pour ensuite chuter rapidement à une date donnée pour croître lentement par la suite : les coupes forestières et incendies.

a) Type de classification choisie

Le principe de la classification consiste à affecter pour chaque pixel une classe. Ce peut être une classe thématique ou spectrale. Dans le cas présent, le traitement utilisé est une classification non supervisée de type k-mean. Cette méthode se base sur un procédé statistique dans lequel on n'intervient que pour fixer le nombre de classes à différencier. Chaque centre de ces classes est jeté aléatoirement dans le nuage de points d'une image. Pour la première itération, la distance entre chaque centre de classes et de pixels est calculée. Chaque pixel est alors affecté à la classe correspondante. Lors de l'itération suivante, un nouveau centre pour chaque classe est calculé. Chaque pixel est ensuite réaffecté au noyau le plus proche. Ainsi de suite, jusqu'à la dernière itération. Cela donne au final une classification.¹⁵

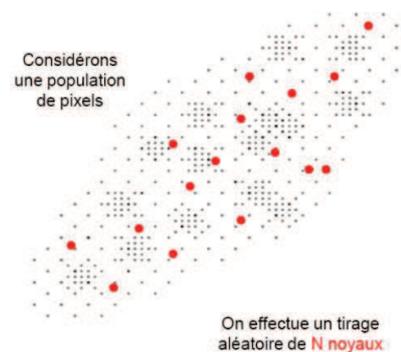


Figure 19: Schématisation des noyaux sur une sur une population de pixels d'une image traité

Ce type de classification est souvent considéré comme peu précis et il est plutôt conseillé de procéder à une classification supervisée où l'opérateur contrôle le processus de bout en bout. Il y définit les classes créées à partir de connaissances du terrain.

¹⁵ LE CORRE S. *GEO012X Initiation aux photographies aériennes* UT 2 le Mirail

Dans notre cas, la résolution de chaque images MODIS est trop faible (250X250 mètres, soit un pixel de 6,25 ha) pour différencier les forêts des plantations, des coupes ou bien des sols cultivés. La classification supervisée y est donc difficile à effectuer. En outre, la classification non supervisée de type k-mean a été utilisée lors du traitement des images de la période 2000-2008, donnant un résultat satisfaisant. Voilà pourquoi ce type de classification a été choisi.

b) Méthodologie

La classification est effectuée sur l'image concaténée contenant l'ensemble des 32 dates étudiées. *Sur Idrisi*, l'opération s'effectue avec l'outil *KMEANS*. Préalablement, il a été choisi un nombre de 16 classes maximum pour composer la classification. Celles-ci pourront être fusionnées au cours du post-traitement de l'image sortie. 50 itérations maximum ont aussi été choisies.

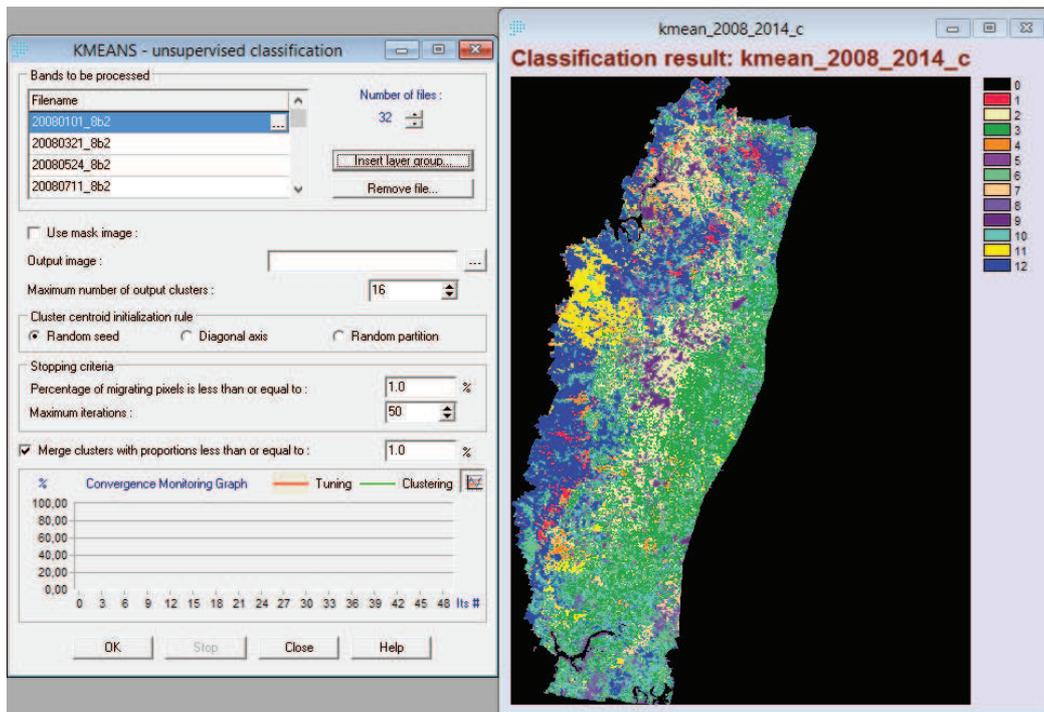


Figure 20: Représentation de l'outil de classification k-means et de son résultat

Il en est ressortie au final une classification composé de 13 classes (de 0 à 12), dont une, la classe 0, représentant tout ce qui est situé en dehors de la zone d'étude, ne dispose pas d'un grand intérêt.

Afin d'évaluer à quel type de sols appartiennent chacune des classes, leurs moyennes arithmétiques sont extraites pour chaque dates puis comparées sur un graphique. Son analyse est décrite dans la partie III.

L'extraction des moyennes arithmétiques se fait par l'outil « EXTRACT », dont la caractéristique est d'extraire des données statistiques sur des objets d'autres images. Ces objets sont les composantes des différentes classes de la classification. Ces entités sont appliquées à l'image dont on veut extraire les données. Il en ressort un fichier texte listant les moyennes des classes du NDVI concerné.

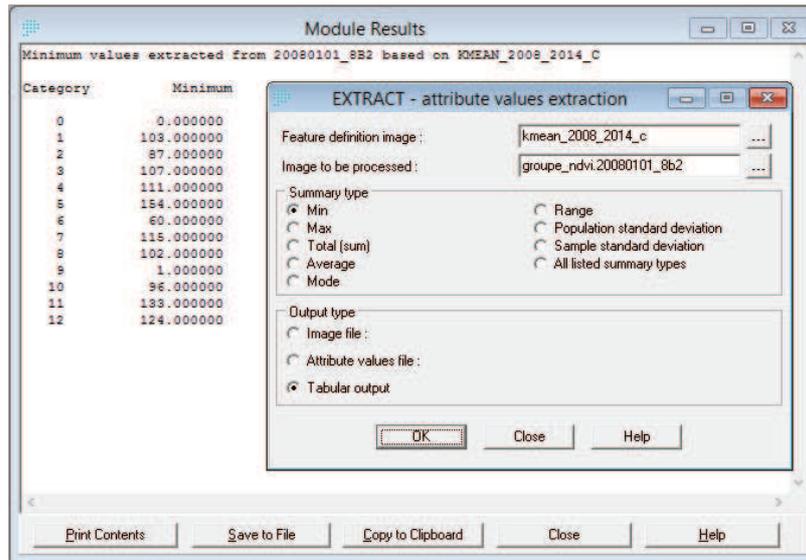
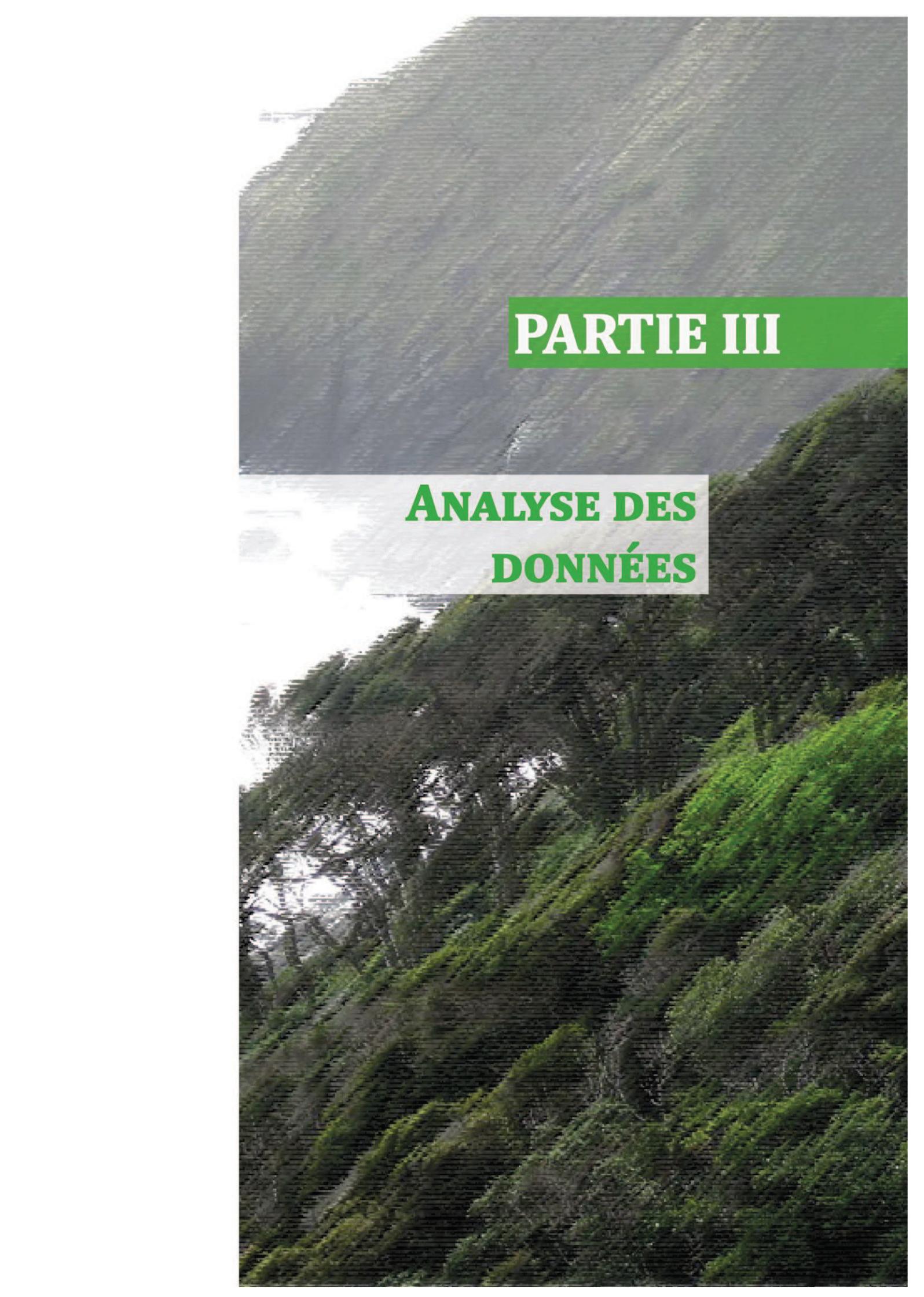
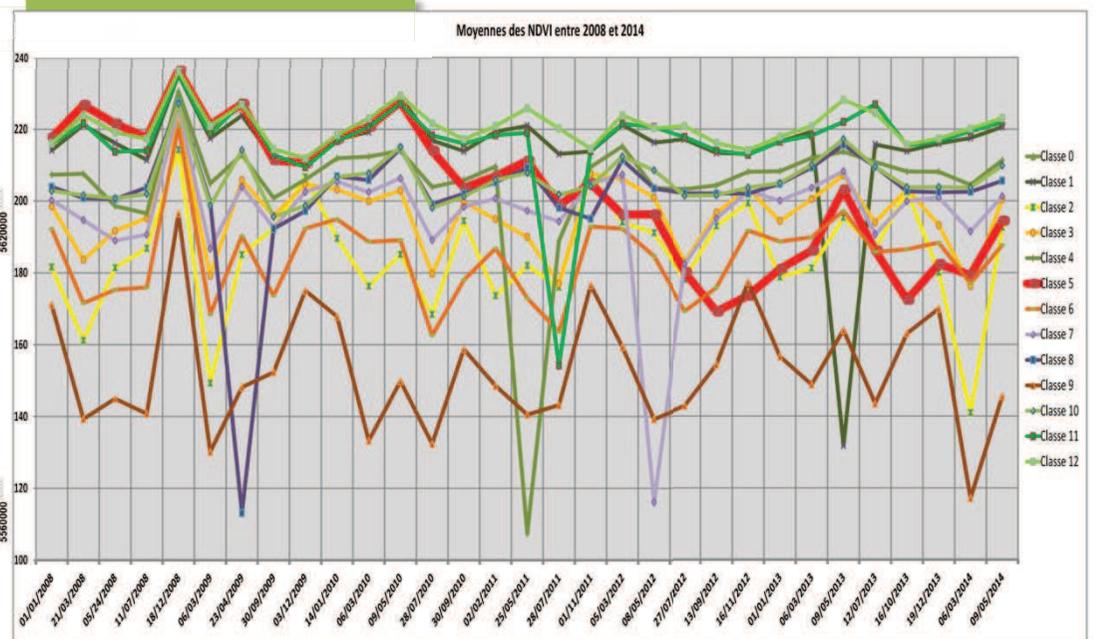
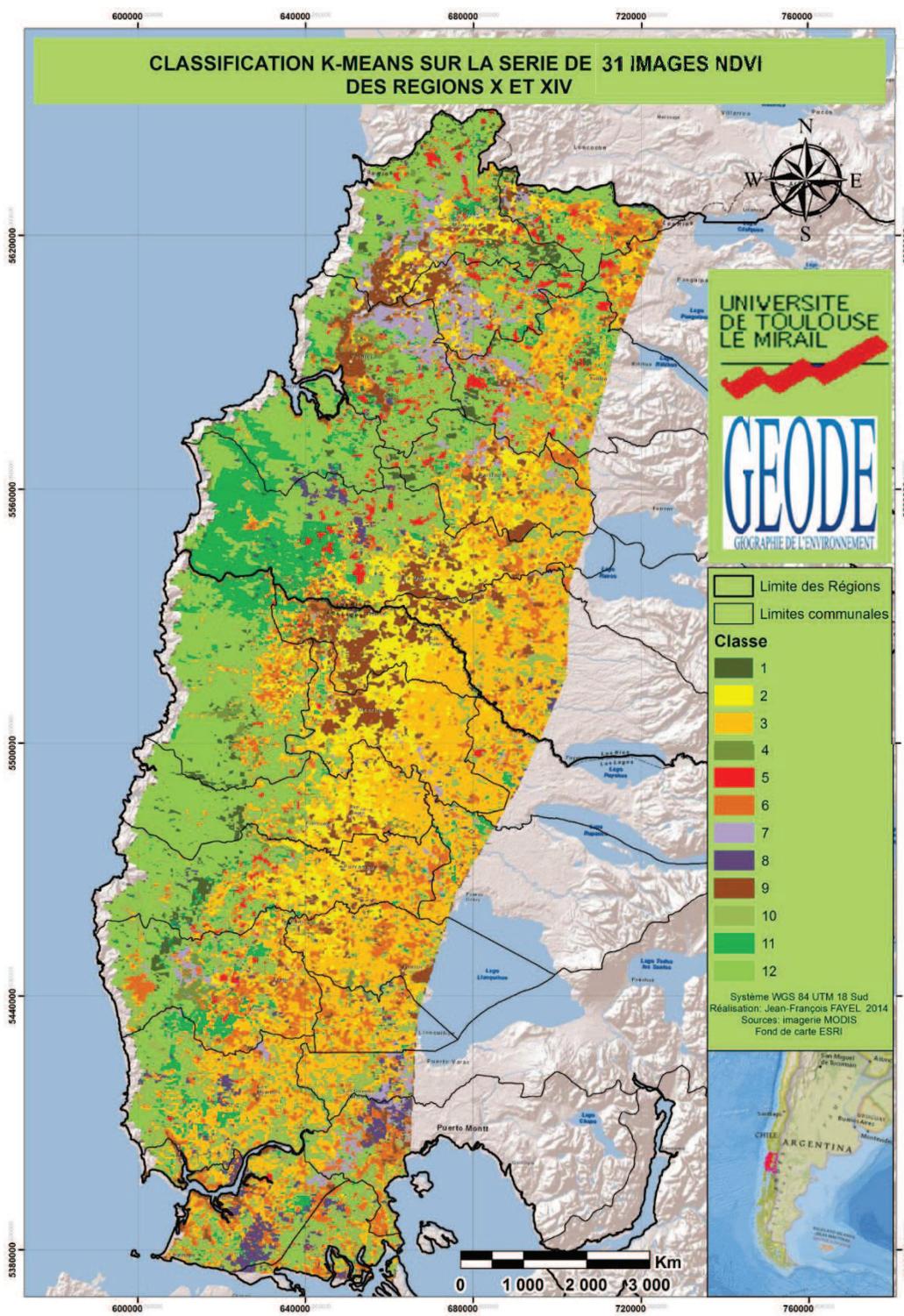


Figure 21: Présentation de l'outil d'extraction des moyennes et du résultat



PARTIE III

ANALYSE DES DONNÉES



	Observation de l'allure des courbes	Observation, notes, après comparaisons avec des images google earth
Classe 1	Varie entre 210 et 235 (décrochage en 132 le 08/09/13) Plutôt stable	Forêt naturelle quasi exclusive
Classe 2	Varie entre 141 et 214 Variable	Paturages, cultures
Classe 3	Entre 176 et 222 Variable	Paturages, cultures
Classe 4	Entre 215 et 197 (décrochage en 231 le 18/12/08 et en 107 le 25/05/11) Stable	Mélange forêt naturelle et plantation
Classe 5	Entre 236 et 169, baisse quasi continue jusqu'au 13/09/12 et remonté jusqu'en 2014 (grand pic en mai 2013)	Forêt qui a disparu durant l'intervalle de temps
Classe 6	Entre 162 et 197 Variable	Paturages, cultures
Classe 7	Entre 182 et 206 (décrochage en 226 le 18/12/08 et en 116 le 08/05/12) stable	Mélange forêt / plantation/ paturage/culture
Classe 8	Entre 195 et 215 (décrochage en 227 le 18/12/2008 et en 113 le 23/04/09) stable	Mélange forêt / plantation/ paturage/culture
Classe 9	Entre 117 et 197 très variable	Paturages, cultures, sols humides
Classe 10	Entre 196 et 227 Très Stable	Forêt, majorité de plantation
Classe 11	Entre 209 et 235 (décrochage en 154 le 28/07/2011) Très Stable	Mélange forêt naturelle et plantation
Classe 12	Entre 211 et 235 Très Stable	Forêt naturelle quasi exclusive

Figure 22: Présentation de la classification et de ses moyennes arithmétiques

A. ANALYSE DU GRAPHIQUE

1. Analyse générale

Le graphique représente les variations des moyennes pour chacun des NDVI sur la période du 1^{er} janvier 2008 au 5 mai 2014. On y distingue plusieurs variations types :

- D'une part certaines courbes présentent des valeurs élevées et un profil peu variable, compris généralement entre 230 et 210. Les classes concernées par cet état sont les classes 1, 11 et 12. Elles présentent donc le profil végétatif stable et élevé sur toute la période étudiée. On en déduit donc qu'elles représentent les forêts, qu'elles soient naturelles ou plantées.
- D'autres, telles que les classes 4, 7, 8 et 10 présentent un profil similaire mais disposent de valeurs plus faibles, variant entre 215 et 200. On estime donc une activité chlorophyllienne toujours stable sur l'ensemble de la période mais plus faible. Il pourrait ainsi s'agir de forêt moins denses, plus clairsemés ou de matorrals (fourrés).
- Les classes 2, 3 et 6 décrivent d'importantes variations d'une date à une autre, traduisant une activité chlorophyllienne instable, et indiquant ainsi un changement de végétation selon la saison. Ceci serait caractéristique de terres agricoles exploitées.
- La classe 9 dispose des mêmes caractéristiques que ces dernières, mais avec une valeur moindre. Elle pourrait donc représenter des sols plus humides ou nus.
- La classe 0 n'est pas représentée dans le graphique, en effet, ses valeurs tournant autour de 0. Elle représente les parties traitées en dehors du masque, et n'a donc pas d'intérêt. Son analyse n'est donc pas plus poussée.
- La classe 5 dispose d'une variation assez particulière. Du 1^{er} janvier 2008 au 9 mai 2010, elle décrit un profil similaire aux classes 1, 11 et 12, disposant de valeurs élevées et variant peu (entre 210 et 230). Dans un premier temps on pourrait donc penser qu'elle représente de la forêt. Elle décrit cependant à partir du 28 juillet 2010 une baisse continue jusqu'au 16 novembre 2012, traduisant ainsi une baisse de l'activité chlorophyllienne. On peut donc penser que les forêts ont durant cette période été coupées ou incendiées, laissant place à du sol nu. Du 28 juillet 2010 au 12 juillet 2013, la courbe décrit une hausse, signe d'un renouveau chlorophyllien et donc de végétations qui repousse. A partir du 12 juillet 2013, la courbe rebaisse pour ensuite stagner autour de 180, et enfin remonter à une valeur de 195 le 9 mai 2014. La végétation y a donc été de nouveau supprimée dans un temps, pour encore une fois repousser. On en conclut donc que cette classe représente la forêt qui a été supprimée au cours de cette période.¹⁶

¹⁶ Paegelow M. 2012

2. -Analyse des décrochages des classes 1, 4, 7, et 8

Sur quelques dates, l'allure de certaines courbes décroche, celle-ci prenant une très faible valeur, entrant en contradiction avec son allure générale.

C'est par exemple le cas de la classe 8 sur la date du 23 avril 2009 qui prend une valeur de 113, alors que sa valeur moyenne est de 202 et son allure, plutôt stable, variant globalement autour de cette valeur. Pour comprendre cela, la classe 8 a été superposée sur l'image NDVI du 23 avril 2009 (la date du décrochage), ainsi que sur les NDVI du 6 mars 2009 et du 09 mai 2010.

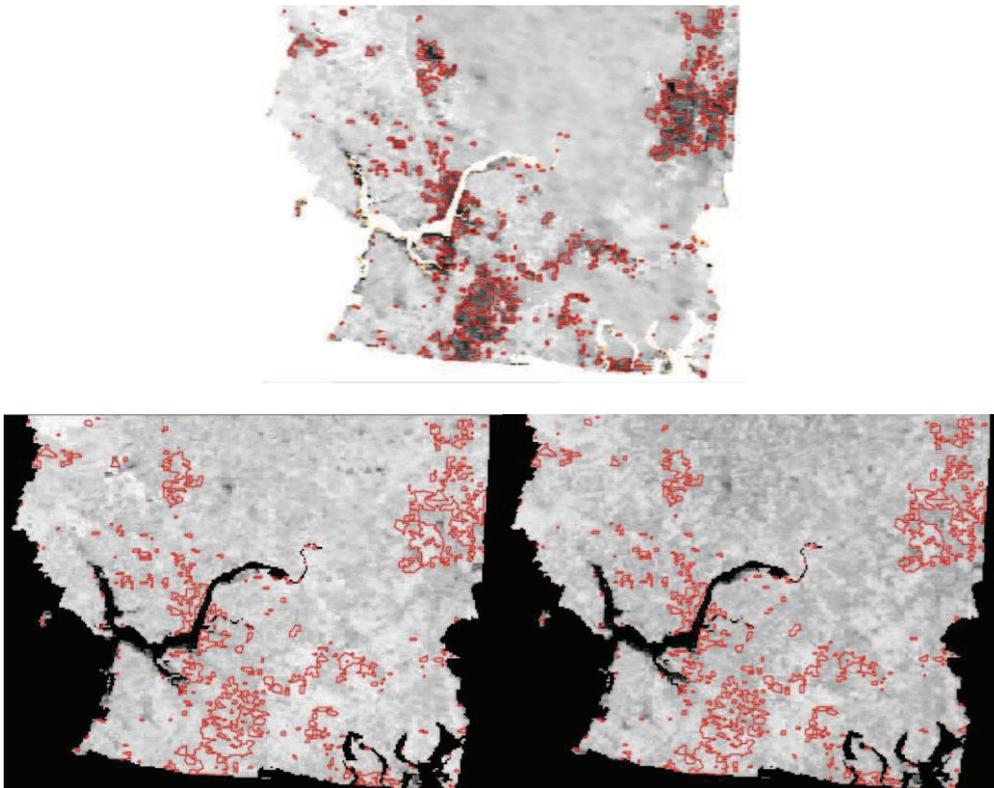


Figure 23: Superposition de la classe 8 dans le sud de la zone d'étude. En haut l'image du 23 avril 2009, à gauche, celle du 6 mars 2009 et à droite, le 9 mai 2010

En comparant ces 3 images entre elles, on constate que sur l'image du 23 avril 2009, les seules zones apparaissant en sombre sont incluses dans la classe 8 (représenté en rouge), ce qui n'est pas le cas des deux autres images. Il est par ailleurs à noter que sur ces images NDVI, plus un pixel tend vers le blanc, plus il présente un haut indice de végétation, et inversement quand il tend vers le noir. On en déduit que ces « taches sombres » de l'image du 23 avril 2009 présentent un taux chlorophyllien très bas et un taux d'humidité plus fort. Par ailleurs, elles n'apparaissent pas dans les deux autres images, dont l'une date de la même saison avec un an d'écart (celle du 09 mai 2010) et l'autre à moins de deux mois d'écart (celle du 6 mars 2009). Il est possible que ces taches soient des nuages locaux.

En outre, la classe 8 semble prendre la forme de ces nuages, on peut supposer qu'elle se soit formée à partir d'eux

Des observations et des comparaisons similaires ont été faites sur les autres décrochages (la classe 7 le 08 mai 2012, la classe 4 le 25 mai 2011, la classe 1 le 09 mai 2013) et permettent d'étayer la thèse du nuage passager. (cf annexe)

On remarque par ailleurs que tous les décrochages ont eu lieu sur la même saison : au printemps, la saison pluvieuse (automne austral).

3. Analyse de la classe 5 : tentative d'explication de la rupture d'indice de végétation de cette classe

La classe 5 présente sur toute la période 2008-2014 une rupture de NDVI, passant d'une valeur comparable à celle d'une forêt à celle d'un sol nu, ou du moins à faible végétation, au fil du temps. On suppose donc que cette classe représente une suppression de la forêt.

Ce phénomène pourrait avoir 3 causes déjà développées dans la partie I : la transformation de la forêt en prairies ou surfaces agricoles, les incendies forestiers et la substitution par des plantations monocultures de pins ou d'eucalyptus.

L'habilitation en prairies ou surfaces agricoles est une pratique peu développée dans cette zone¹⁷. L'explication de ce phénomène par cette méthode est donc peu plausible.

Le tableau 3 présente les surfaces incendiées sur la période 2008-2013¹⁸ et les compare avec la surface de la classe 5. D'une proportion surfacique de 6,26% par rapport à la classe 5, les incendies ne semblent donc pas un phénomène majeur

Tableau 2: Comparaison entre les surfaces détectées comme des suppressions forestières à partir de MODIS et les incendies de l'INFOR entre 2008 et 2013

MODIS		INFO INCENDIES			
classe 5	Plantations	Forêt native	Total forêt	Autre	Total
28179,91	678	791	1469	294	1763
% incendies dans la forêt coupé					
6,26					

¹⁷ N. MAESTRIPIERI thèse 2012

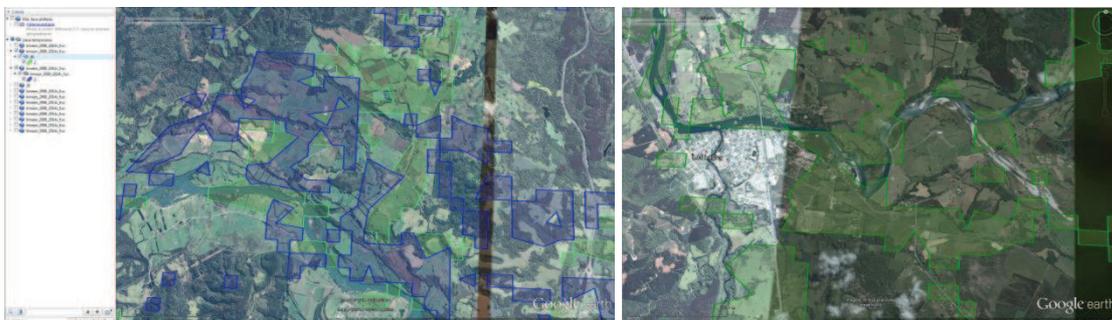
¹⁸ INFOR

En outre, on constate que la majorité des surfaces incendiées sont des forêts, et au premier point de vue dans une proportion de environ 54% de forêt naturelle et 46% de plantations. Cette proportion est cependant à nuancer par le fait qu'un incendie exceptionnel sur 430 hectares d'eucalyptus s'est produit sur la commune de Paillaco en 2009. On suppose donc que les incendies concernent les forêts en premier lieu.

La substitution par des monocultures de pins ou d'eucalyptus semble donc être la principale cause de déforestation. D'autant plus que le schéma opératoire de cette pratique semble correspondre à l'évolution de la courbe des moyennes d'NDVI dans le temps de la classe 5. En effet, après la coupe de la forêt, le terrain est nettoyé avant d'être préparé pour les plantations lors du printemps (automne austral). Bien souvent, 1 à 2 ans s'écoulent entre la coupe et la plantation. Entre ces 2 dates, il est commun que de la végétation rase pousse sur ces sols. L'allure de la courbe semble correspondre à cela, vu qu'elle enregistre une hausse du niveau chlorophyllien lors des printemps 2013 et 2014

B. 1^{ERE} VALIDATION DES DONNEES PAR COMPARAISON SUR GOOGLE EARTH

Afin de confirmer la validité des classes, une première vérification est effectuée, en transportant la classification sur Google earth au format kml, et ainsi les comparer avec les photographies aériennes tirées du logiciel.



Figures 24 : à gauche Superposition des classes 2 (vert) et 3 (bleu foncé) sur une image aérienne du 16 janvier 2014, à droite superposition de la classe 6 sur une image de même date

La figure 24 superpose les classes 2 (en vert) et 3 (en bleu), censées représenter des terres agricoles, sur une image datée du 16 janvier 2014. Ces classes-là se superposent généralement sur des cultures ou des pâtures, même si on y constate certaines portions de forêts. On peut cependant imputer cela au manque de résolution de l'image MODIS. L'image de gauche, faisant figurer la classe 6 sur une image de même date, présente des conclusions similaires pour cette classe.

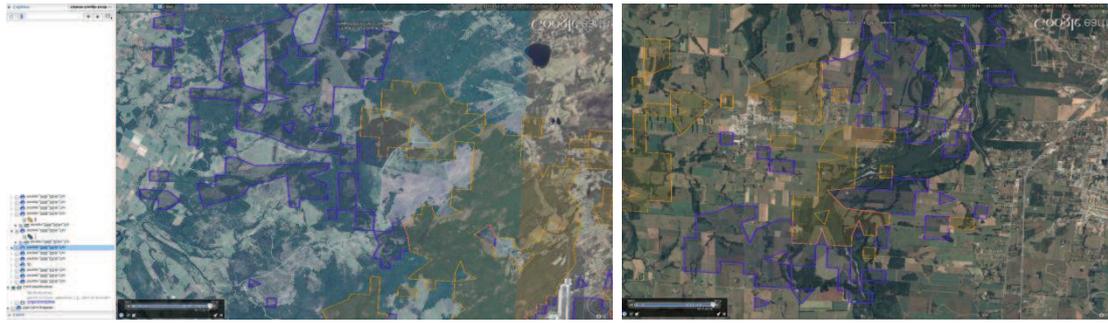


Figure 25 : Superposition des classes 7 (violet) et 8 (jaune)

La figure 25 applique les couches 7 (en violet foncé) et 8 (en jaune) sur une image du 18 janvier 2014. Si sur la figure de gauche, les classes se superposent sur de la forêt, ce n'est pas le cas de l'image de droite à travers laquelle elles couvrent de larges portions de parcelles cultivées et de prés. Ainsi ces classes qui après la lecture du graphique semblaient correspondre à de la forêt clairsemée, représenteraient au final un mélange de forêt, et de parcelles agricoles.



Figure 26: Superposition de la classe 9 sur une image du 18 janvier 2014

La figure 26 montre un exemple de superposition de la classe 9 sur une image du 18 janvier 2014. On remarque qu'elle englobe les zones nues à proximité des cours d'eau, ainsi que les zones bâties tels que Valdivia.

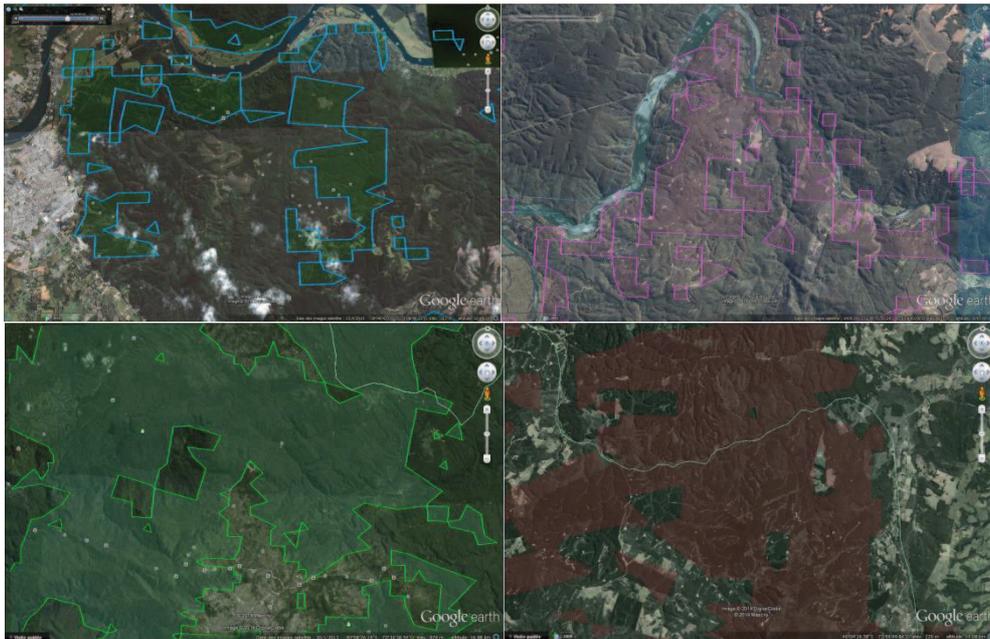


Figure 27: superposition des classes 4 (vert bleu), 10 (rose), 11(vert) et 12 (rouge)

Globalement la superposition de la classe 10 sur les images de Google earth, semble associer à cette classe des plantations d'eucalyptus ou de pins, comme le montre la 27. Ces dernières se distinguent sur la photo de la forêt naturelle par un aspect plus dense et la présence de routes de terre la traversant. Il apparait cependant que la classe 10 ne les inclues pas toutes. La classe 12 en incluant elle aussi, en complément de la forêt naturelle; tout comme la classe 4. La classe 11 en revanche n'englobe que de la forêt naturelle dans sa très grande majorité.

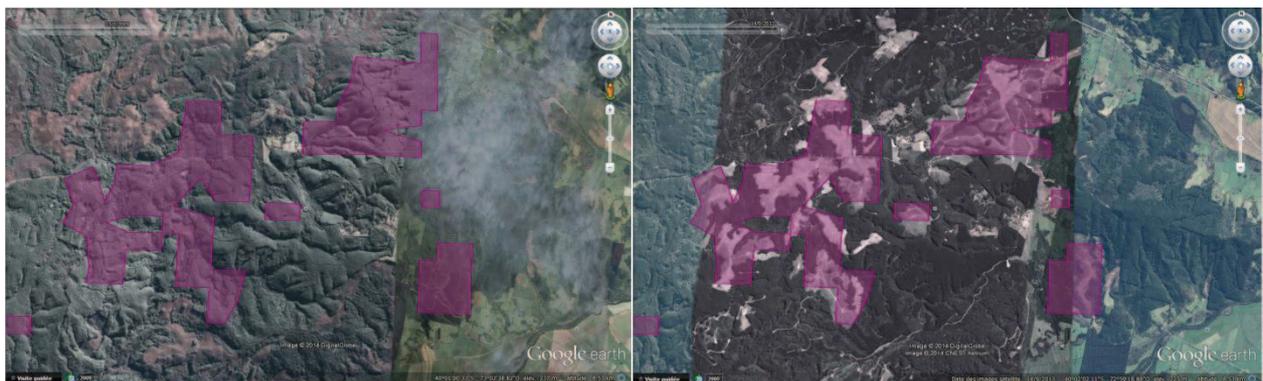


Figure 28: Superposition de la classe 5 (rose) le 23 juillet 2009 (à gauche) et le 14 septembre 2013 (à droite)

La figure 28 représente la superposition de la classe 5 sur un même site à deux dates différentes : à gauche le 23 juillet 2009 et à droite le 14 septembre 2013. Si en 2009, la zone couverte par la classe 5 est boisée, notamment en plantation, ce n'est pas le cas en 2013. La classe 5 représenterait donc bien les coupes forestières.

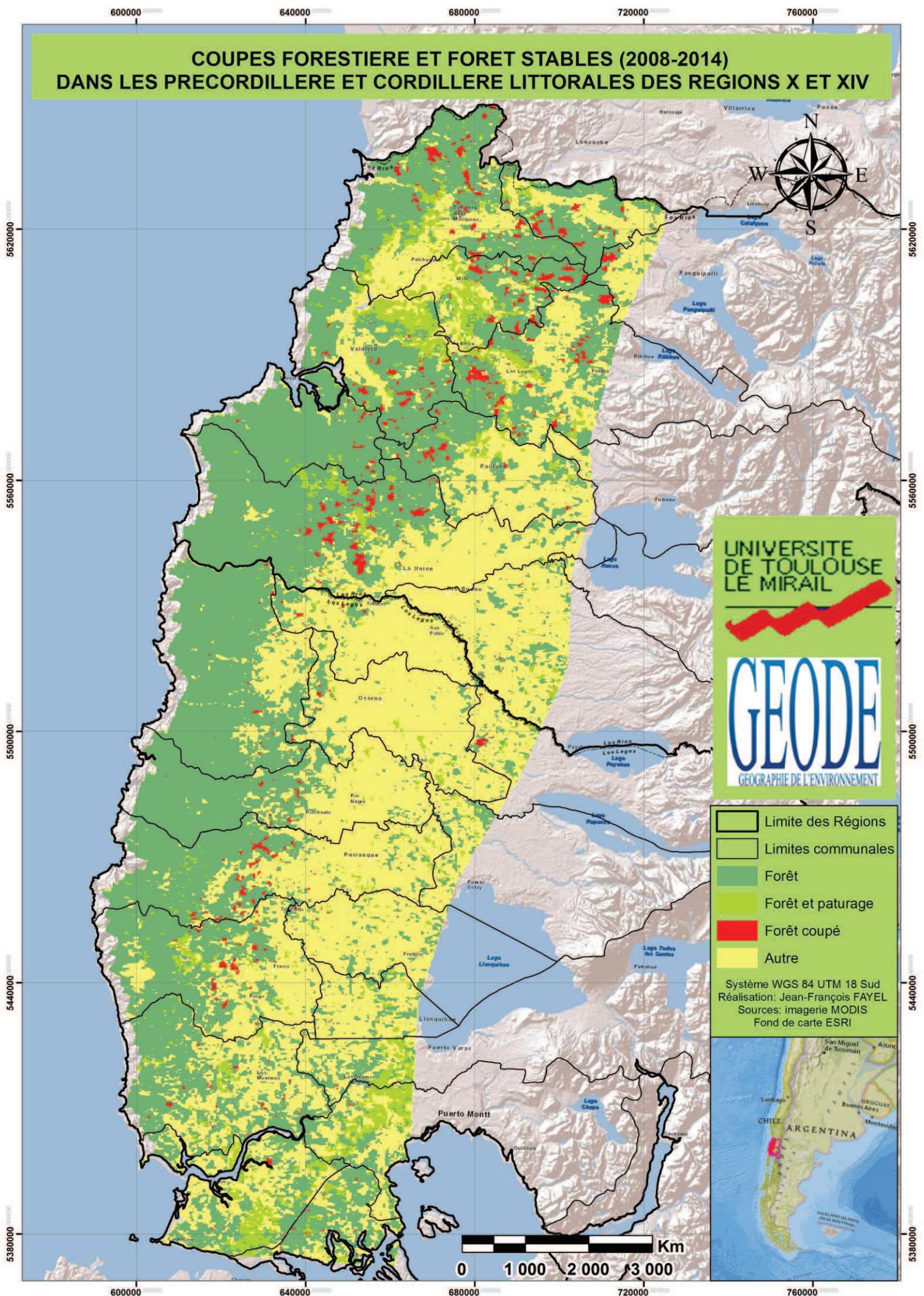


Figure 29: Représentation de la classification simplifiée

C. SIMPLIFICATION DE LA CLASSIFICATION

L'interprétation du graphique des valeurs moyennes des NDVI en fonction du temps, ainsi que la validation des classes sur Google earth a permis d'identifier et regrouper les classes ayant des similitudes. Il en est ressorti une nouvelle classification simplifiée, présentée par la figure 28 à l'interprétation plus claire et composée d'uniquement 4 classes :

- La classe « forêt » qui regroupe les classes 1, 4, 10, 11 et 12, comprend les forêts naturelles et les plantations. Elle est représentée en vert sur la carte;
- La classe « Autre » englobe l'ensemble des parcelles agricoles, des zones construites, des sols nu, des zones humides... et comprend donc les classes 2, 3, 6 ,9. Elle est représentée en jaune sur l'image ;
- La classe « Forêt coupée » représente les forêts qui ont été détruites au cours de la période étudiée. La classe 5 y est donc incluse. Elle est représentée en rouge sur l'image ;
- La classe « forêt et pâturage » comprend les classes 7 et 8. Si l'interprétation des valeurs moyennes des NDVI a dans un premier temps considéré ces classes comme des forêts, il s'est avéré, après la comparaison avec les images de Google Earth, que qu'elles comprenaient en effet de la forêt, mais aussi une partie non négligeable de prairies, matorral et de parcelles exploitées. Ainsi, au lieu de les regrouper dans la classe « forêt », il est plus judicieux de les inclure dans une classe à part. Elle est représentée en vert clair sur la carte.

Afin de valider cette classification, celle-ci doit être comparée avec des données similaires tirées d'autres sources

D. VALIDATION DES DONNEES

1. Analyse statistique avec les données de l'INE

Une première comparaison statistique est effectuée avec l'INE. Ce dernier présente les données surfaciques des forêts naturelles, plantations, matorrals, infrastructures et autres au niveau communal. Ainsi seule les communes comprises en grande partie dans la zone d'étude furent analysées. (figure 30).

Par ailleurs, les données surfaciques de l'INE datant de 2007, dans les données MODIS, la classe « forêt coupée » fut incluse dans la classe « forêt », tout comme la classe « forêt et pâturage »

La comparaison donne au final une très forte concordance avec une différence de 2,3% entre MODIS et l'INE

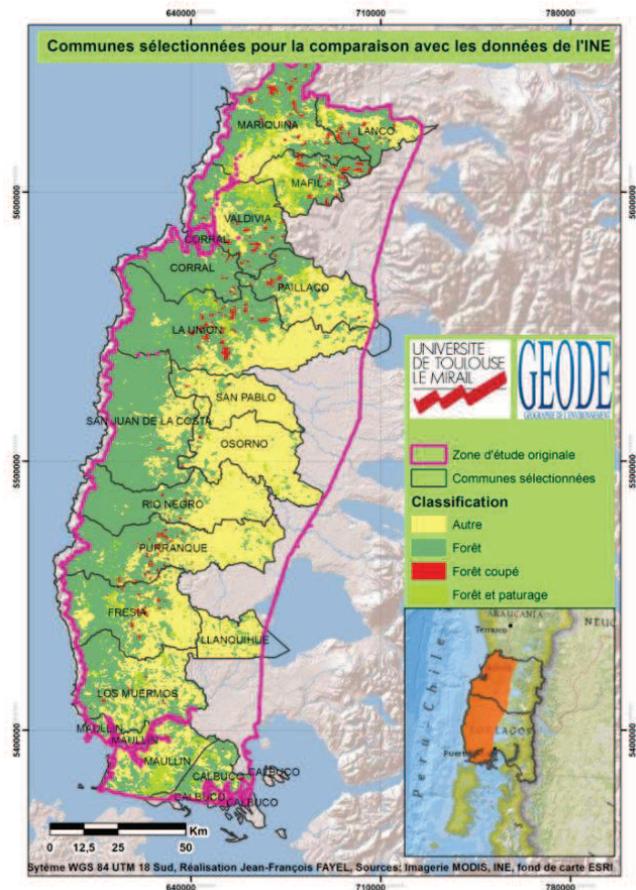
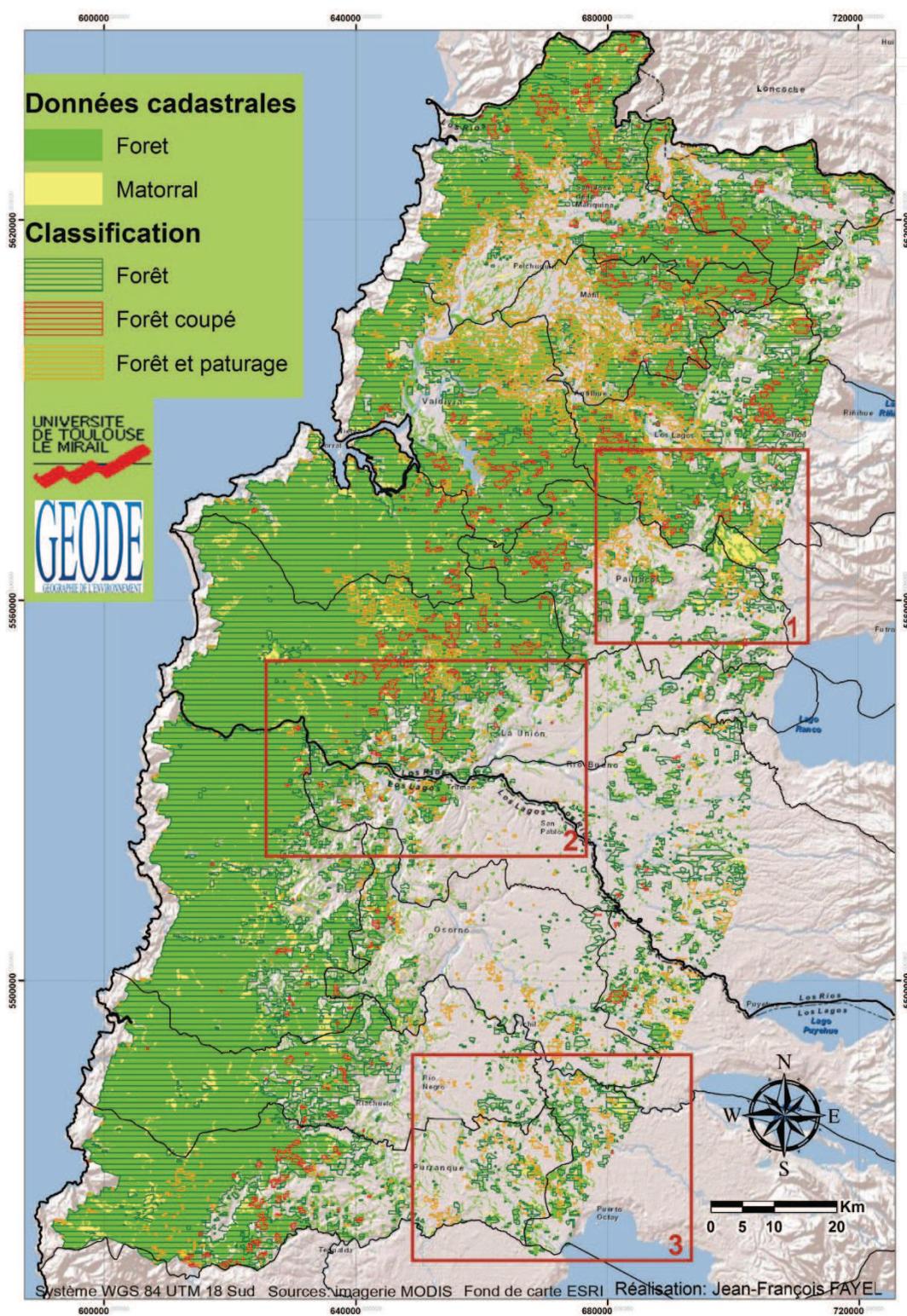


Figure 31: Communes analysées

Tableau 3: Comparaison de la surface forestière entre les données MODIS et INE 2007

	MODIS	INE	Différence MODIS-INE en %
Total forêt	957695,57	935676,60	2,30%



Comparaison entre les classes de forêts issues de la classification 2008-2014 avec les données de l'INE (2006)

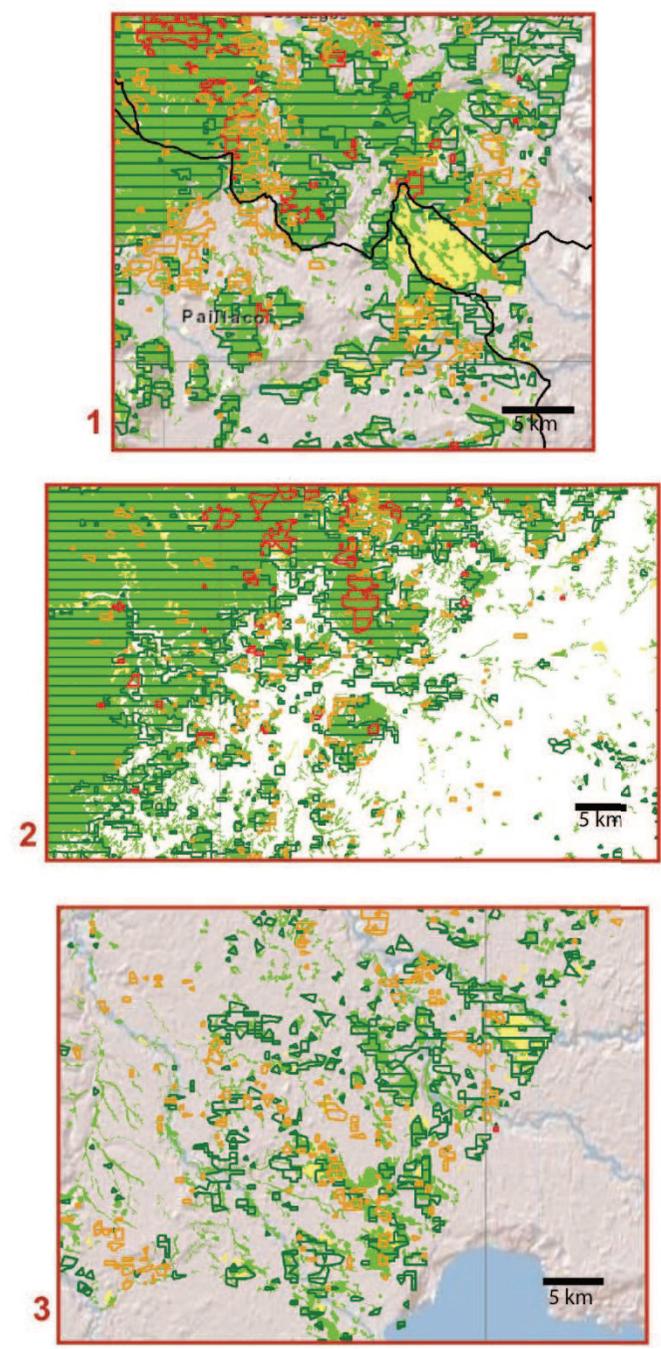


Figure 32: Comparaison entre les données cadastrales et celles tirées de MODIS

2. Analyse quantitative

a) Comparaison avec les données cadastrales

Une première comparaison a été effectuée avec les données cadastrales regroupant les surfaces et types forestiers du pays en 2006 (CONAF). Les données à disposition ne couvrent cependant pas toute la zone d'étude, délaissant toute la partie Sud de la classification. Cette dernière fut donc découpée en fonction des données cadastrales afin de pouvoir mener à bien la comparaison.

Une première comparaison est faite entre les surfaces globales du couvert forestier de données cadastrales (les surfaces en matorral sont comprises) et celles des classes « forêts », « forêt coupée » et « forêt et pâturage » issues de la classification.

Sur le plan surfacique, la comparaison est cohérente, l'écart MODIS/INE n'étant que de 1,26%.

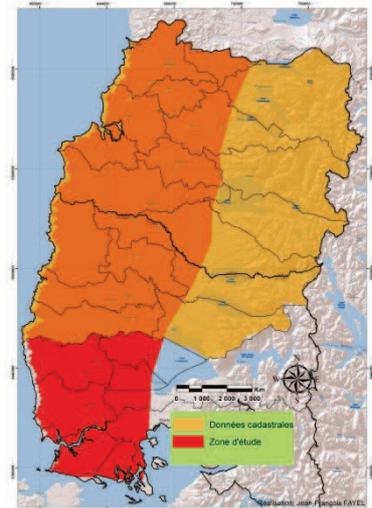


Figure 33: Comparaison zone d'étude/cadastre de 2006

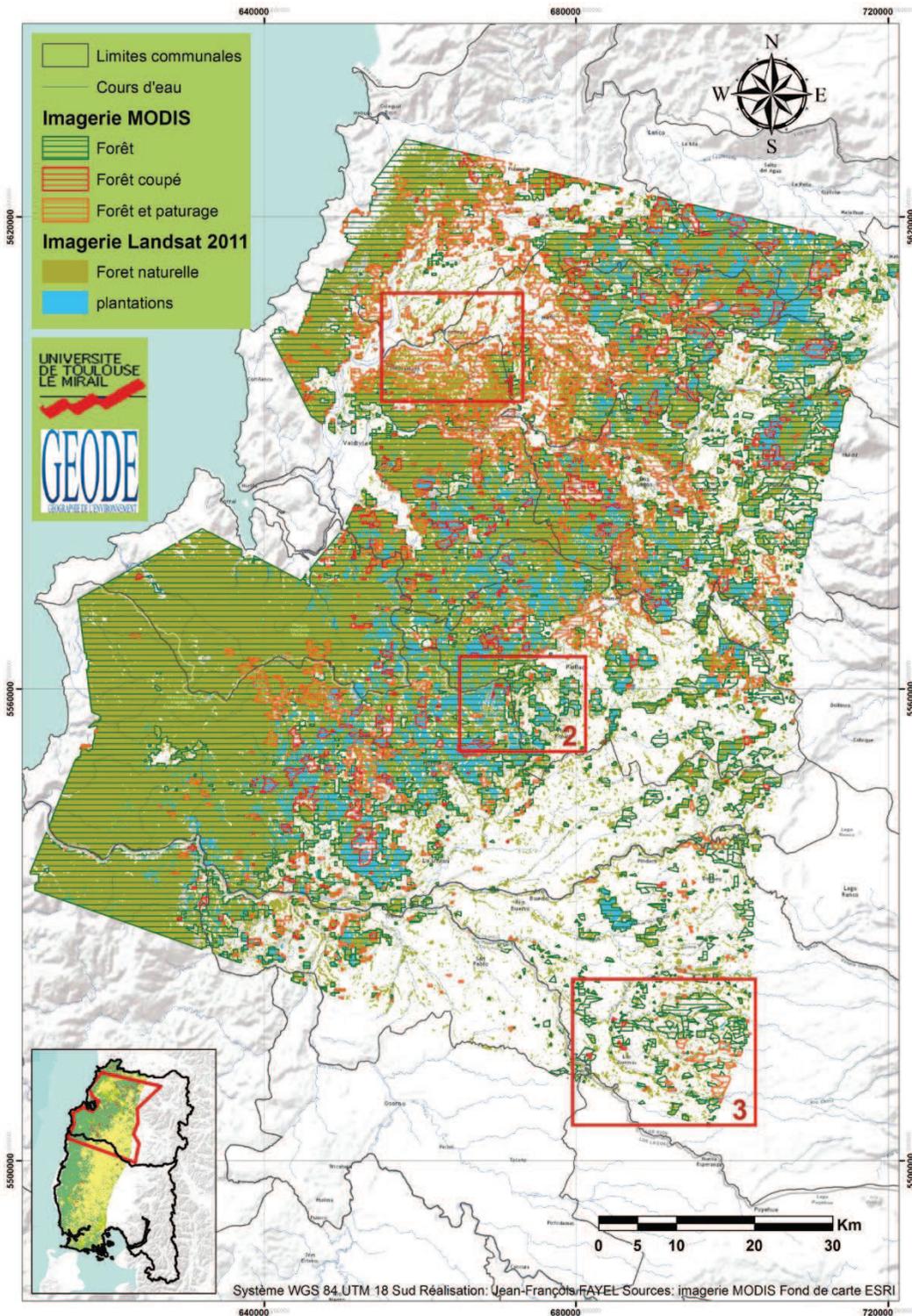
Tableau 4: Comparaison surfacique entre les données tirées de MODIS et celles de l'INE (2007)

Surface en ha		Classification	Différence (MODIS – INE) en %
INE			
<i>Forêt</i>	<i>Matorral</i>		
788134,60	47810,31		
835944,91		836050,25	1,26

On note cependant un écart important concernant les surfaces de plantation de cadastrales et les surfaces des classes que l'on pouvait considérer comme plantation en 2008, à savoir les classes 5, 10 et 12

Tableau 5: Comparaison surfacique entre les classes 5, 10 et 12 de MODIS et les surfaces de plantations de l'INE (2007)

Classification			Plantation
<i>classe 5</i>	<i>classe 10</i>	<i>classe 12</i>	
322472,71	432151,9	785978,09	203822,12



Comparaison des données issues de MODIS sur la période 2008-2014 et celle de l'imagerie Landsat de 2011

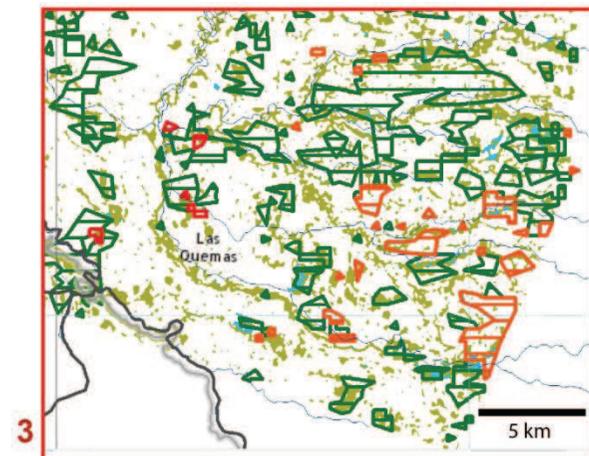
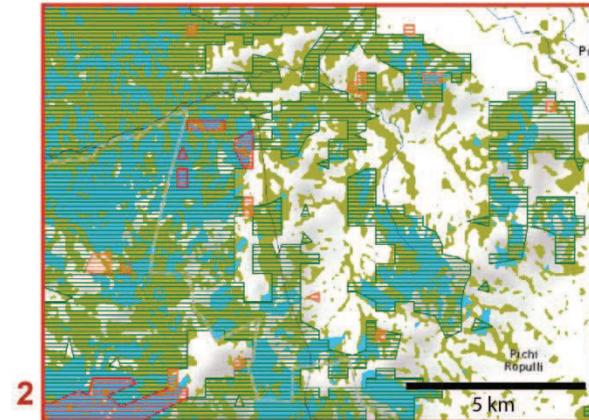
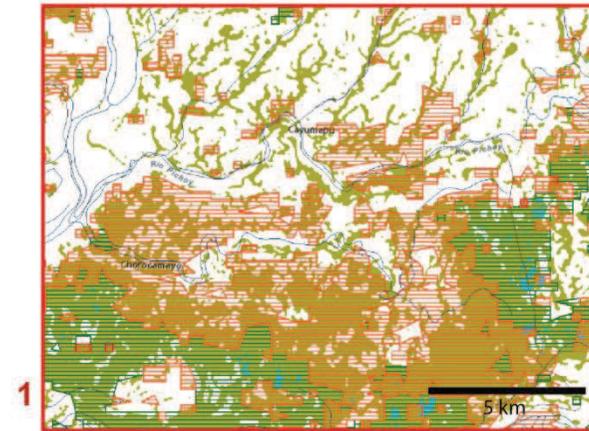


Figure 34: Superposition des données MODIS sur la classification supervisée tirée de Landsat 2011

La figure 31 juxtapose les données cadastrales avec celles de la classification. Les forêts et matorrals tirés du cadastre forestier sont respectivement représentés en vert et en jaune, tandis que les classes tirés des NDVI sont symbolisées par des bandes horizontales vertes pour la forêt, rouge pour la forêt coupée et orange pour la classe « forêt et pâtures ».

On y constate dans un premier temps une juxtaposition que l'on peut juger de bonne précision pour les zones ayant un important volume de forêts, telles que représentée par les images 2 et 3. Néanmoins, pour des volumes forestiers plus petits, montrés par l'image 4, la comparaison est bien moins précise. Ceci peut s'expliquer par la résolution de l'imagerie MODIS qui est de 250X250 mètres, soit une précision maximale de 6,25 hectares par pixel.

La comparaison avec le cadastre demeure au final limitée. D'une part ces données datent de 2006, tandis que la classification provient de données commençant dès 2008. La CONAF pourrait avoir depuis modifié certaines zones, notamment des forêts qui pourraient avoir été coupées. L'idéal aurait été d'avoir des données bien plus récentes.

Elle a néanmoins permis de mettre en avant le manque de précision des données MODIS concernant la différenciation entre forêt naturelle et plantations.

b) Comparaison avec les données issues de l'imagerie Landsat de 2011

A l'occasion de l'atelier lié à l'UE 243 du master 1 GEP, un travail d'extraction des forêts et des plantations a été réalisé à partir d'imagerie Landsat. Pour cela une classification supervisée a été effectuée sur une image couvrant toute la région XIV de résolution 30x30mètres le pixel. Les données tirées de cette image peuvent donc être considérées comme plus précises au premier abord.

Dans un premier temps, la classification de MODIS a subi un redécoupage afin de correspondre à la zone d'étude de l'image Landsat.

Une juxtaposition entre les deux classifications a d'abord été effectuée, celle-ci est présentée par la figure 33. Sur cette carte les données tirées de l'imagerie Landsat de 2011 sont représentées en surface pleine : vert pour la forêt naturelle et bleu pour les plantations ; tandis que celles provenant de MODIS symbolisées par des traits horizontaux : vert foncés pour les forêts et plantations, rouge pour les coupes forestières et orange pour la classe « forêt et pâturages ». La première constatation est que la superposition au niveau des grandes surfaces semble globalement bonne comme l'indique les zooms 1 et 2. On peut cependant noter quelques imprécisions au niveau des forêts isolées telles que représentées sur le zoom 3. Une autre imprécision concerne les petites surfaces de forêts, non reconnues par MODIS, au contraire de Landsat. Ce dernier s'explique par la différence de précision entre les deux satellites (250X250m pour MODIS et 30x30m pour Landsat).

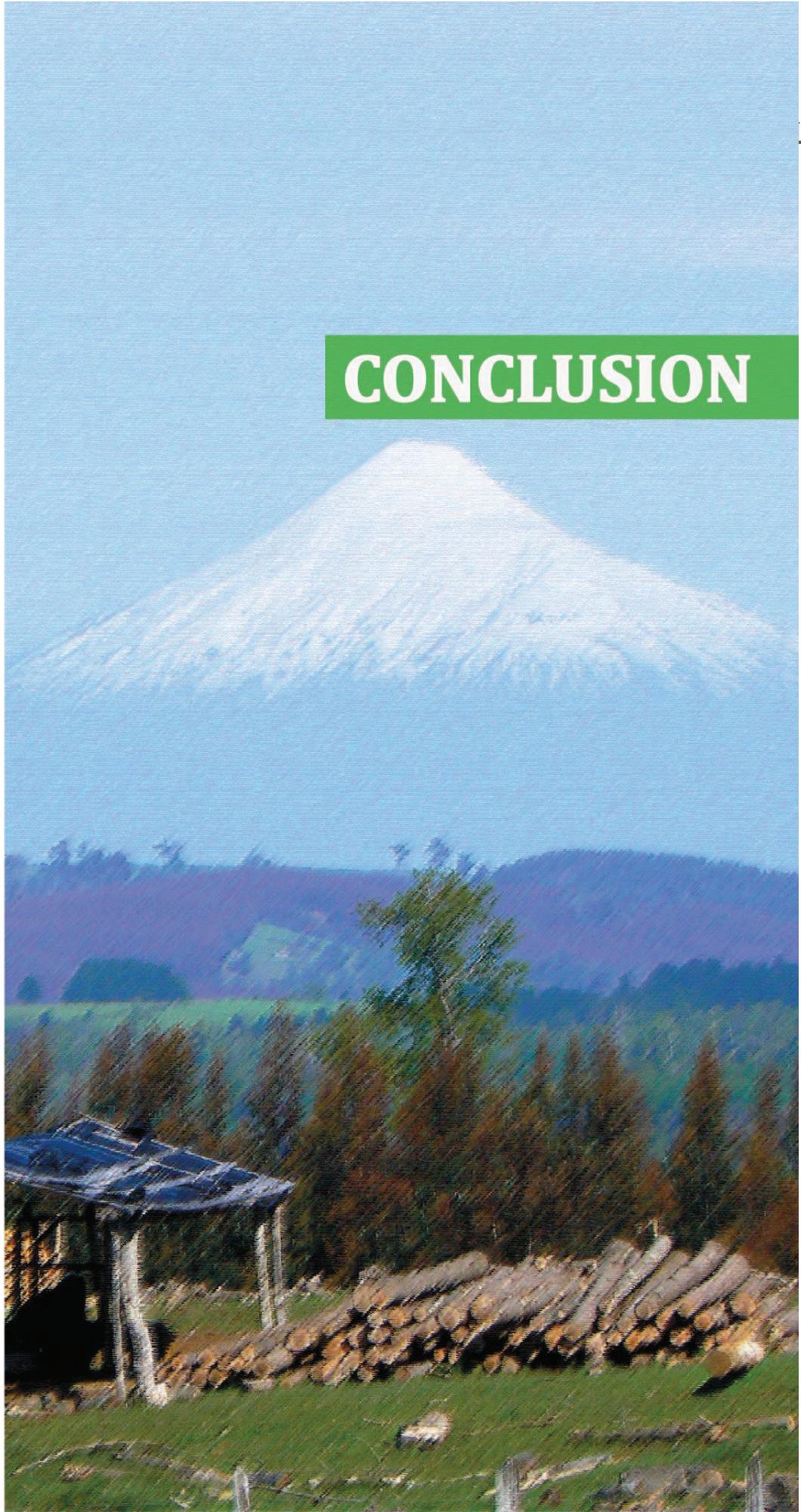
Une comparaison surfacique a aussi été accomplie, dans laquelle on constate un écart bien plus important entre les deux classifications : plus de 59%. Cette comparaison présente donc très peu de cohérences.

Tableau 6: comparaison surfacique entre les données tirées de Landsat et MODIS

		Landsat		MODIS		
Surface en ha	<i>Forêt naturelle</i>	367923,51	445777,02	<i>Forêt</i>	952076,78	1100450,58
	<i>Plantation</i>	77853,51		<i>Forêt coupé</i>	34839,17	
				<i>Forêt et paturage</i>	113534,63	
Comparaison MODIS-Landsat en %						59,49%

Si la comparaison entre les données tirées de Landsat et MODIS semble peu concluante, on peut supposer cela entre autre par la différence de précision qu'ont les deux capteurs satellites. On peut aussi se questionner sur la validité de la classification tirée de l'image Landsat, le rapport décrivant son traitement précisant une comparaison décevante entre le cadastre forestier et les données extraites. Cependant la classification effectuée depuis Landsat a permis de distinguer les plantations d'eucalyptus et de pins des forêts au contraire du traitement depuis des images MODIS.

CONCLUSION



La cartographie de la cordillère littorale des régions X et XIV à partir de l'imagerie MODIS sur 2008/2014 a permis de parfaitement distinguer les forêts et zones forestières coupées du reste de la zone. Ce travail confirme donc la méthode de traitement des données, simple et rapide, qui fut déjà appliquée lors du précédent travail réalisé sur les périodes 2000/2008.

Les zones de forêts supprimées dans l'intervalle ont été mises en évidence, dans lesquelles il est difficile d'y distinguer les incendies et les coupes. Cependant la part d'incendie étant peu importante sur ce site d'étude, et n'a donc que peu d'impact sur cette classe que l'on peut considérer comme étant de la coupe forestière.

Comme pour la précédente l'étude, l'extraction des données n'a pas permis de différencier correctement les forêts naturelles des plantations. Il est aussi demeuré quelques imprécisions sur la différenciation forêts/pâturages sur les classes 7 et 8, incertitude que l'on suppose causée par le passage de nuages locaux sur certaines dates..

La comparaison avec les données statistiques de l'INE a donné de très bons résultats. La comparaison qualitative avec les données du cadastre forestier de la CONAF de 2006 (à nuancer en raison de la date des données) et les images aériennes tirées de Google Earth est très bonne dans le cas de grandes surfaces forestières, néanmoins cette précision diminue dans le cas de petites surfaces. Ceci pourrait être imputable notamment à la résolution de 6.25 ha d'une image MODIS.

En revanche la comparaison avec les données extraites depuis une image Landsat de 2011 est peu concluante. Ce peut être attribuable à la différence de résolution entre les deux données, l'imagerie Landsat étant elle précise jusqu'à 900 m². D'autre part la comparaison entre le cadastre forestier et les données de Landsat donne de mauvais résultats. En comparaison au traitement depuis l'imagerie Landsat, celui effectué avec MODIS possède l'avantage d'être simple et rapide. De plus si les images Landsat sont plus précises que MODIS, ce dernier donne de meilleurs résultats. Les comparaisons surfaciques avec le cadastre l'ont démontré. L'imagerie Landsat néanmoins extrait avec plus d'efficacité les plantations et les forêts naturelles.

Les coupes forestières pouvant être considérées comme de futures plantations, il serait intéressant de développer une nouvelle étude de la zone sur une plus large période : 2000-2014 afin de couvrir toute la période de pousse des plantations et peut être de déterminer avec plus d'exactitude la dynamique forestière.

BIBLIOGRAPHIE ET SITOGRAFIE

BARRUE-PASTOR M. (2004) *Forêts et développement durable au Chili : indianité mapuche et mondialisation*. Toulouse. Presses universitaires du Mirail, coll. Paysage et Environnement 286 p

BERGH G., PROMIS A. (2011) « Conservación de los bosques nativos de Chile – Un análisis al Informe FAO sobre la Evaluación de los Recursos Forestales Nacionales » *Revista n°47* http://revista.bosquenativo.cl/volumenes/48/2_bergh.html

CLIMATE DATA Climat Osorno : <http://fr.climate-data.org/location/2047/>

CONAF 2006 Cadastro Vegetational 2006, <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/>

FRENE CONGET C., NUNEZ AVILA M. (2010) « Macia un nuevo modelo forestal en Chile » *Revista n°47* http://revista.bosquenativo.cl/volumenes/47/2_opinion.html

INE (2007) Censo Agropecuario y Forestal 2007 Resultados por Comuna http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/censo_agropecuario_07_comunas.php

INFOR (2013) Anuario Forestal 2013. Centro de Informacion Forestal (CIF) 148 p <http://wef.infor.cl/publicaciones/anuario/2013/Anuario2013.pdf>

LE CORRE S. *GEO012X Initiation aux photographies aériennes* UT 2 le Mirail

MAESTRIPIERI N. (2012) *Dynamiques spatio-temporelles des plantations forestières industrielles dans le Sud chilien. De l'analyse à la modélisation prospective*. Thèse UT 2 le Mirail. 356 p.

MONGABAY “Chile Forest Information and Data” <http://rainforests.mongabay.com/deforestation/2000/Chile.html>

National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2010): MODIS WEB <http://modis.gsfc.nasa.gov/>

National Aeronautics and Space Administration (NASA) <http://reverb.echo.nasa.gov>

NAVARRO C., GUERRA E., CELIS F., Pirares J. 2010 « Mercado y potencial economico : actualidad y desafíos del bosque nativo » *Revista n°47* http://revista.bosquenativo.cl/volumenes/47/3_navarro.html

National Snow & Ice Data Center_(NSIDC)

http://nsidc.org/data/modis/data_summaries/landgrid.html

PAEGELOW, M. MAESTIPIERI N., SAEZ VILLALOBOS N., TORO BALBONTIN D. (2012)

« Détection des plantations forestières par l'imagerie satellite MODIS dans le Sud du Chili »

Mappemonde n°34 <http://mappemonde.mgm.fr/num34/articles/art12204.html>

RUDEL C (2011) *Le Chili* édition Karthala 191 p

World Wild Fund “Southern South America: Chile and Argentina “

<http://www.worldwildlife.org/ecoregions/nt0404>

World Wild Fund “Valdivian Temperate Rainforests / Juan Fernandez Islands

http://wwf.panda.org/about_our_earth/ecoregions/valdivian_temperate_rainforests.cfm

UVED e-cours de l'université de Paris 1

<http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvved/envcal/html/vegetation/indices/index.html>

SOURCES DES PHOTOS DES PAGES DE GARDE:

Page de garde: source Maestriepieri N. (S.D)

Photo de la page de presentation de la partie 1 (2013) : Javier Argel F. Licence (CC)

https://www.flickr.com/photos/totoro_zine/10905287806/

Photo de la page de presentation de la partie 2 : Gaither J. (CC)

<https://www.flickr.com/photos/jim-sf/2617366262/in/photostream/>

Photo de la page de presentation de la partie 3: Noelbua (pseudo Filckr) (CC)

<https://www.flickr.com/photos/80543110@N03/7383065688/in/set-72157630154337890/>

Photo de présentation de la conclusion : source Maestriepieri N. (S.D)

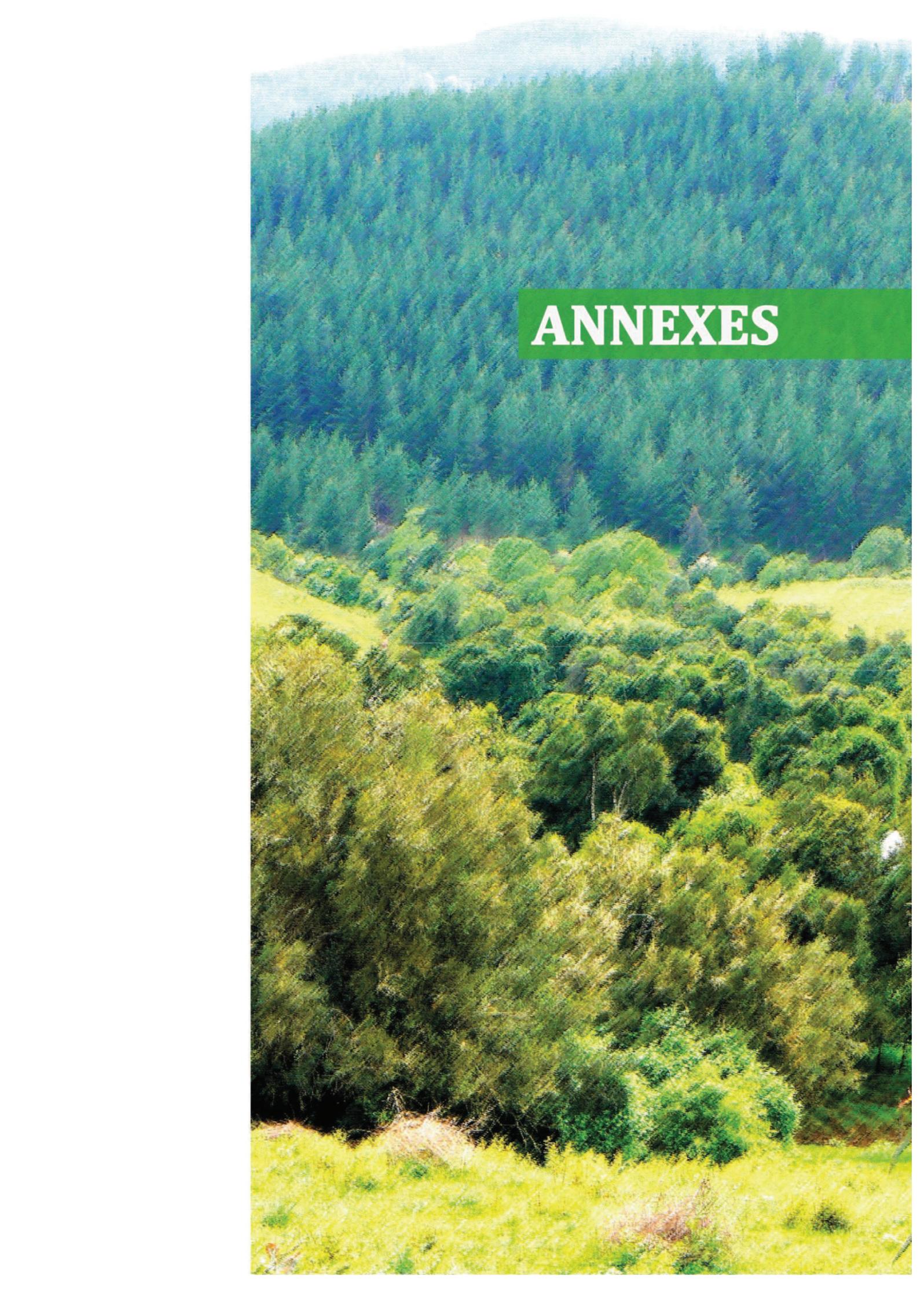
Photo de présentation des annexes: source Maestriepieri N. (S.D)

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: diagramme climatique de la ville d'Osorno (Région X) (source climate_date.org).....	8
Figure 3: Profil topographique (parallèle 41,7° Sud) au niveau des régions X et XIV (source M.Paegelow)...	10
Figure 2: Localisation de la zone d'étude	9
Figure 4: Un alerce (source http://www.touristlink.com (CC)).....	12
Figure 5 Evolution du couvert forestier Chilien entre 1990 et 2010 (Source www.Rainforest.mongabay.com)	14
Figure 6 A gauche, <i>Pinus radiata</i> , à droite, <i>Eucalyptus globulus</i> (source N. Maestriperi (SD)).....	15
Figure 7 A gauche, part du type d'espèces plantés par ans ; à droite, évolution des importations de bois de 1964 à 2006 (source : INFOR, Frêne Conget y Mariela Núñez Ávila 2010).....	15
Figure 8 Part des exportations de bois par pays en 1975, 2004 et 2012 (Source INFOR 2012, PAEGELOW 2012)	16
Figure 9: Une coupe forestière dans la commune de La Union (source N. Maestriperi (SD))	16
Figure 10: Tuiles MODIS en projection sinusoidale. Les 2 dalles rouges concernent la zone d'étude (source NSIDC)	21
Figure 11: répartition spectrale des réflectances dans le rouge et le proche infrarouge.....	21
Figure 12: fusion des dalles et géoréférencement de l'image a2008001 (du 01 janvier 2008).....	23
Figure 13: découpage de l'image a2008001 (datant du 01 janvier 2008) en fonction des masques des régions X et XIV et des Andes et du littoral.....	24
Figure 14: la composition d'un modelbuilder.....	24
Figure 15: 6 séquences pour le traitement de 6 dates.....	25
Figure 16: à gauche, l'image 20080101 codé en 16 bits, au centre la commande de reclassement, à droite, la même image classée en 8 bits.....	26
Figure 17: L'image 20080321 avant (à gauche) et après décalage (à droite)	26
Figure 18: L'outil de concaténation des images, la colonne de droite représente l'ensemble des données qui composent l'image concaténée	26
Figure 19: Schématisation des noyaux sur une sur une population de pixels d'une image traité	27
Figure 20: Représentation de l'outil de classification k-means et de son résultat.....	28
Figure 21: Présentation de l'outil d'extraction des moyennes et du résultat	29
Figure 22: Présentation de la classification et de ses moyennes arithmétiques.....	31
Figure 23: Superposition de la classe 8 dans le sud de la zone d'étude. En haut l'image du 23 avril 2009, à gauche, celle du 6 mars 2009 et à droite, le 9 mai 2010.....	33
Figures 24 : à gauche Superposition des classes 2 (vert) et 3 (bleu foncé) sur une image aérienne du 16 janvier 2014, à droite superposition de la classe 6 sur une image de même date.....	35
Figure 25 : Superposition des classes 7 (violet) et 8 (jaune).....	36
Figure 26: Superposition de la classe 9 sur une image du 18 janvier 2014.....	36
Figure 27: superposition des classes 4 (vert bleu), 10 (rose), 11(vert) et 12 (rouge)	37
Figure 28: Superposition de la classe 5 (rose) le 23 juillet 2009 (à gauche) et le 14 septembre 2013 (à droite) 37	
Figure 29: Représentation de la classification simplifiée.....	38
Figure 30: Représentation de la classification simplifiée.....	40
Figure 31: Communes analysées.....	40
Figure 32: Comparaison entre les données cadastrales et celles tirées de MODIS	41
Figure 33: Comparaison zone d'étude/cadastre de 2006	42
Figure 34: Superposition des données MODIS sur la classification supervisée tirée de Landsat 2011	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Répartition de la forêt sur le territoire Chilien en 2010	11
Tableau 2: Comparaison entre les surfaces détectées comme des suppressions forestières à partir de MODIS et les incendies de l'INFOR entre 2008 et 2013	34
Tableau 3: Comparaison de la surface forestière entre les données MODIS et INE 2007	40
Tableau 4: Comparaison surfacique entre les données tirées de MODIS et celles de l'INE (2007)	42
Tableau 5: Comparaison surfacique entre les classes 5, 10 et 12 de MODIS et les surfaces de plantations de l'INE (2007)	42
Tableau 6: comparaison surfacique entre les données tirées de Landsat et MODIS	45

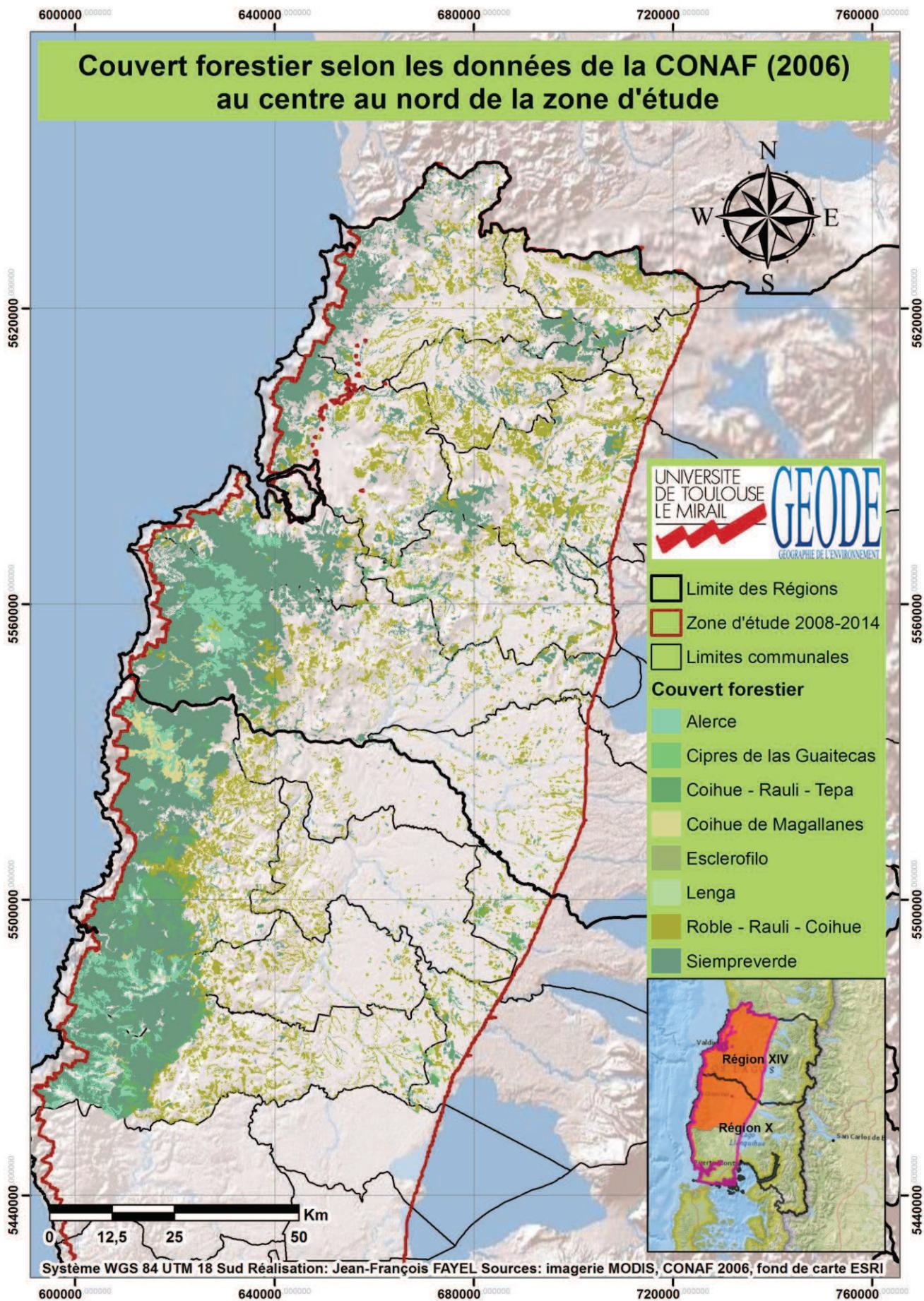


ANNEXES

SOMMAIRE

Annexe 1 : Cartographie du couvert forestier.....	III
Annexe 2 : Représentation des dalles choisies de 2008 à 2011.....	IV
Annexe 2 : Représentation des dalles choisies de 2012 à 2014.....	V
Annexe 3 : Représentation des décrochages de classes	VII
Annexe 4 : Surfaces des communes de la zone d'étude selon les données de l'INE de 2007	VIII
Annexe 5 : Les différents types de sols répertoriés par la CONAF en 2006	VI

ANNEXE 1 : CARTOGRAPHIE DU COUVERT FORESTIER



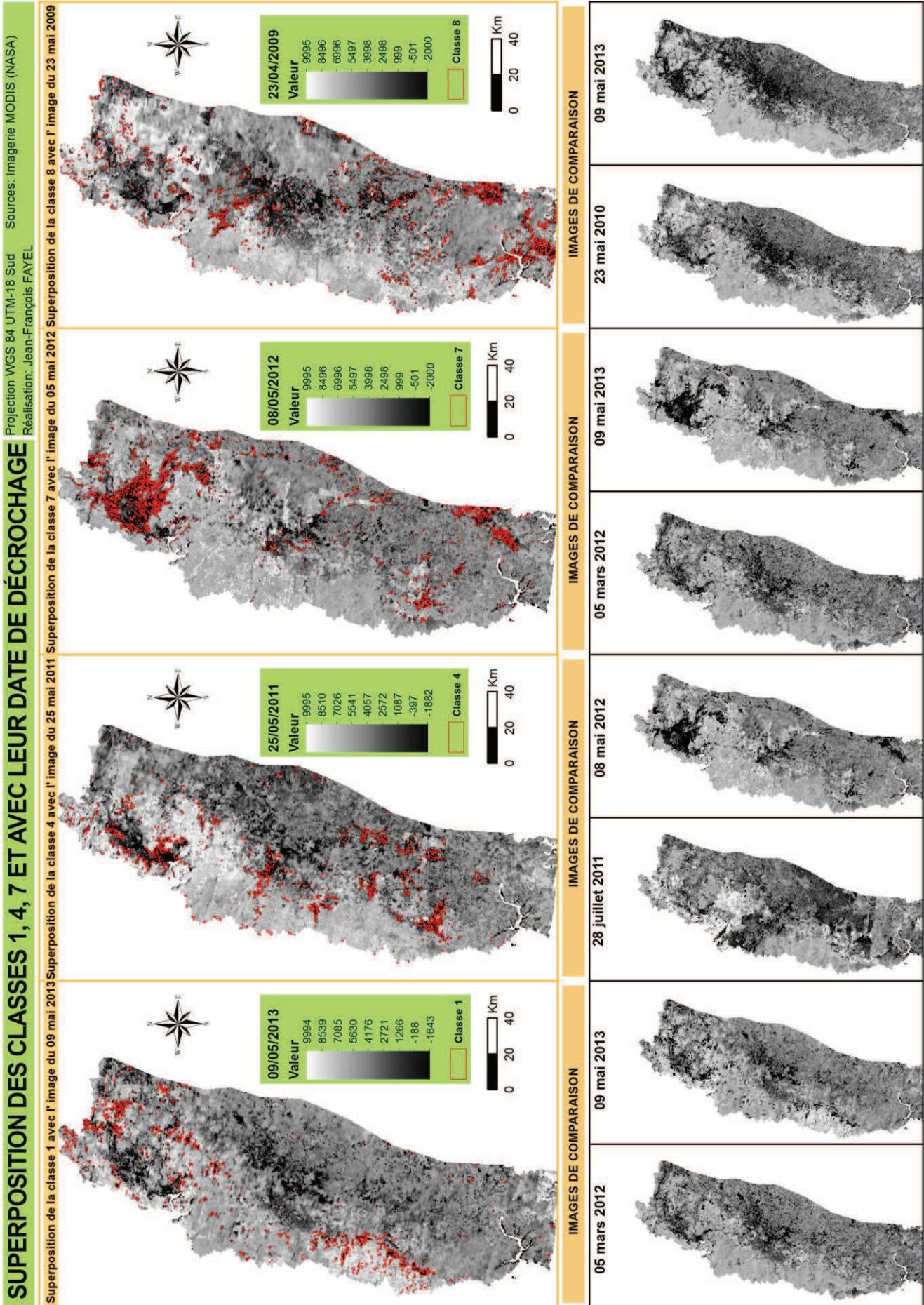
ANNEXE 2 : REPRESENTATION DES DALLES CHOISIES DE 2008 A 2011

Dalles	Start date	Stop Date	Cloud Cover
MOD13Q1,A2008001,h12v12,005,2008018210221,hdf	1 janv 2008	16 janv 2008	0
MOD13Q1,A2008001,h12v13,005,2008019140523,hdf	1 janv 2008	16 janv 2008	10
MOD13Q1,A2008081,h12v12,005,2008099123948,hdf	21 Mar 2008	5 Mai 2008	0
MOD13Q1,A2008081,h12v13,005,2008100045727,hdf	21 Mar 2008	5 Mai 2008	1
MOD13Q1,A2008145,h12v12,005,2008162150913,hdf	24 Mai 2008	8 Juin 2008	10
MOD13Q1,A2008145,h12v13,005,2008163010833,hdf	24 Mai 2008	8 Juin 2008	5
MOD13Q1,A2008193,h12v12,005,2008210161226,hdf	11 Juil 2008	26 Juil 2008	10
MOD13Q1,A2008193,h12v13,005,2008210203458,hdf	11 Juil 2008	26 Juil 2008	5
MOD13Q1,A2008353,h12v12,005,2009011190053,hdf	18 dec 2008	2 janv 2009	0
MOD13Q1,A2008353,h12v13,005,2009012044519,hdf	18 dec 2008	2 janv 2009	4
MOD13Q1,A2009065,h12v12,005,2009082235012,hdf	6 Mar 2009	21 Mar 2009	0
MOD13Q1,A2009065,h12v13,005,2009085044231,hdf	6 Mar 2009	21 Mar 2009	2
MOD13Q1,A2009113,h12v12,005,2009130203408,hdf	23 Avr 2009	5 Aout 2009	0
MOD13Q1,A2009113,h12v13,005,2009131002447,hdf	23 Avr 2009	5 Aout 2009	7
MOD13Q1,A2009273,h12v12,005,2009306003251,hdf	30 Sept 2009	15 Oct 2009	2
MOD13Q1,A2009273,h12v13,005,2009306003021,hdf	30 Sept 2009	15 Oct 2009	8
MOD13Q1,A2009337,h12v12,005,2009354200102,hdf	3 Dec 2009	12 Dec 2009	0
MOD13Q1,A2009337,h12v13,005,2009355025550,hdf	3 Dec 2009	12 Dec 2009	4
MOD13Q1,A2010017,h12v12,005,2010035172027,hdf	14 Janv 2010	1 Fev 2010	0
MOD13Q1,A2010017,h12v13,005,2010036021712,hdf	14 Janv 2010	1 Fev 2010	5
MOD13Q1,A2010065,h12v12,005,2010083172143,hdf	6 Mar 2010	21 Mar 2010	0
MOD13Q1,A2010065,h12v13,005,2010084050836,hdf	6 Mar 2010	21 Mar 2010	3
MOD13Q1,A2010129,h12v12,005,2010146231426,hdf	9 Mai 2010	24 Mai 2010	2
MOD13Q1,A2010129,h12v13,005,2010146115820,hdf	9 Mai 2010	24 Mai 2010	3
MOD13Q1,A2010209,h12v12,005,2010237230011,hdf	28 Juil 2010	12 Aout 2010	4
MOD13Q1,A2010209,h12v13,005,2010238144652,hdf	28 Juil 2010	12 Aout 2010	8
MOD13Q1,A2010273,h12v12,005,2010290190804,hdf	30 Sept 2010	15 Oct 2010	1
MOD13Q1,A2010273,h12v13,005,2010291054206,hdf	30 Sept 2010	15 Oct 2010	8
MOD13Q1,A2011033,h12v12,005,2011056122300,hdf	2 Fev 2011	17 Fev 2011	0
MOD13Q1,A2011033,h12v13,005,2011058025121,hdf	2 Fev 2011	17 Fev 2011	1
MOD13Q1,A2011145,h12v13,005,2011163024914,hdf	25 Mai 2011	6 juin 2011	4
MOD13Q1,A2011145,h12v12,005,2011162164835,hdf	25 Mai 2011	6 juin 2011	2
MOD13Q1,A2011209,h12v12,005,2011226180018,hdf	28 Juil 2011	12 Aout 2011	5
MOD13Q1,A2011209,h12v13,005,2011226174132,hdf	28 Juil 2011	12 Aout 2011	18
MOD13Q1,A2011305,h12v12,005,2011322131524,hdf	1 Nov 2011	16 Nov 2011	0
MOD13Q1,A2011305,h12v13,005,2011322131743,hdf	1 Nov 2011	16 Nov 2011	6

ANNEXE 2 : REPRESENTATION DES DALLES CHOISIES DE 2012 A 2014

Dalles	Start date	Stop Date	Cloud Cover
MOD13Q1,A2012065,h12v12,005,2012082120219,hdf	5 Mars 2012	20 Mars 2012	0
MOD13Q1,A2012065,h12v13,005,2012082122150,hdf	5 Mars 2012	20 Mars 2012	1
MOD13Q1,A2012129,h12v12,005,2012146105612,hdf	8 Mai 2012	23 Mai 2012	2
MOD13Q1,A2012129,h12v13,005,2012146105857,hdf	8 Mai 2012	23 Mai 2012	12
MOD13Q1,A2012209,h12v12,005,2012228191450,hdf	27 Juil 2012	11 Aout 2012	3
MOD13Q1,A2012209,h12v13,005,2012228192613,hdf	27 Juil 2012	11 Aout 2012	10
MOD13Q1,A2012257,h12v12,005,2012275110419,hdf	13 Sept 2012	28 Sept 2012	1
MOD13Q1,A2012257,h12v13,005,2012275110145,hdf	13 Sept 2012	28 Sept 2012	12
MOD13Q1,A2012321,h12v12,005,2012339031134,hdf	16 Nov 2012	1 Dec 2012	0
MOD13Q1,A2012321,h12v13,005,2012339032708,hdf	16 Nov 2012	1 Dec 2012	3
MOD13Q1,A2013001,h12v12,005,2013018041033,hdf	1 janv 2013	16 janv 2013	0
MOD13Q1,A2013001,h12v13,005,2013018034732,hdf	1 janv 2013	16 janv 2013	1
MOD13Q1,A2013065,h12v12,005,2013082061951,hdf	6 Mars 2013	21 Mars 2013	0
MOD13Q1,A2013065,h12v13,005,2013082054349,hdf	6 Mars 2013	21 Mars 2013	1
MOD13Q1,A2013129,h12v12,005,2013146054101,hdf	9 Mai 2013	24 Mai 2013	1
MOD13Q1,A2013129,h12v13,005,2013146053944,hdf	9 Mai 2013	24 Mai 2013	7
MOD13Q1,A2013193,h12v12,005,2013213122613,hdf	12 Juil 2013	27 Juil 2013	3
MOD13Q1,A2013193,h12v13,005,2013213123158,hdf	12 Juil 2013	27 Juil 2013	7
MOD13Q1,A2013289,h12v12,005,2013316202456,hdf	16 Oct 2013	31 Oct 2013	1
MOD13Q1,A2013289,h12v13,005,2013316193930,hdf	16 Oct 2013	31 Oct 2013	4
MOD13Q1,A2013353,h12v12,005,2014006094900,hdf	19 Dec 2013	3 Janv 2014	0
MOD13Q1,A2013353,h12v13,005,2014006092511,hdf	19 Dec 2013	3 Janv 2014	3
MOD13Q1,A2014065,h12v12,005,2014086114434,hdf	6 Mar 2014	21 Mar 2014	0
MOD13Q1,A2014065,h12v13,005,2014086115339,hdf	6 Mar 2014	21 Mar 2014	4
MOD13Q1,A2014129,h12v12,005,2014147203933,hdf	9 mai 2014	24 mai 2014	2
MOD13Q1,A2014129,h12v13,005,2014147203901,hdf	9 mai 2014	24 mai 2014	4

ANNEXE 3 : REPRESENTATION DES DECROCHAGES DE CLASSES



ANNEXE 5 : LES DIFFERENTS TYPES DE SOLS REPERTORIES PAR LA CONAF EN 2006

	Foret
	Matorral
	Autre
	Plantation

COMPARAISON ENTRE LES DONNES TIREES DE LA CONAF ET DE MODIS				
SURFACE EN HA	cadastre CONAF 2006	Forêt+ plantation	788134,6	835944,91
		Matorral	47810,31	
	Classification MODIS	Forêt	734031,08	836050,25
		Forêt coupé	31353,48	
		Forêt et paturage	70665,69	
	DIFFERENCE MODIS CONAF(%)			

TYPES DE SOLS	Surface ha
B.Nat-Exoticas Asilv.Semidenso	3242,79
B.Nat-Exoticas Asilves.Abierto	761,72
B.Nat-Exoticas Asilves.Denso	483,32
B.Nat.Achaparrado Abierto	3256,30
B.Nat.Achaparrado Denso	2358,65
B.Nat.Achaparrado Semidenso	3982,61
B.Nat.Adulto-Renoval Abierto	5718,83
B.Nat.Adulto-Renoval Denso	26981,62
B.Nat.Adulto-Renoval Semidenso	27861,24
B.Nativo-Plantacion Abierto	779,76
B.Nativo-Plantacion Semidenso	3679,46
Bosque Nativo-Plantacion	16,43
Bosque Nativo-Plantacion Denso	1546,10
Bosque Nativo Adulto Abierto	3266,59
Bosque Nativo Adulto Denso	111059,33
Bosque Nativo Adulto Semidenso	73854,66
Bosques Exoticas Asilvestradas	73,19
Cajas de Rios	39,96
Ciudades-Pueblos-Zonas.Indus.	7435,29
Lago-Laguna-Embalse-Tranque	407,16
Marismas Herbaceas	559,22
Matorral Abierto	5320,09
Matorral Arborescen. Semidenso	6648,26
Matorral Arborescente Abierto	10252,80
Matorral Arborescente Denso	1475,67
Matorral Denso	1930,69
Matorral Pradera Abierto	9793,10
Matorral Pradera Semidenso	746,85
Matorral Semidenso	11642,85
Mineria Industrial	24,09
Ñadis Herbaceos y Arbustivos	3764,65
Otros Terrenos Humedos	1852,90
Otros Terrenos Sin Vegetacion	1022,67
Planta.Joven-Recien Cosechada	37937,49
Plantacion	139230,15
PLANTACION	26654,48
Playas y Dunas	127,73
Praderas Anuales	712,40
Praderas Perennes	614646,94
Protecciones	65371,62
Renoval Abierto	32028,93
Renoval Denso	87189,26
Renoval Semidenso	126501,69
Rios	10776,69
Rotacion Cultivo-Pradera	2959,58
Terrenos de Uso Agricola	8991,70
Vegas	3857,43
Vegetacion Herbacea en Orilla	4298,38

Surface totale

1493123,32

