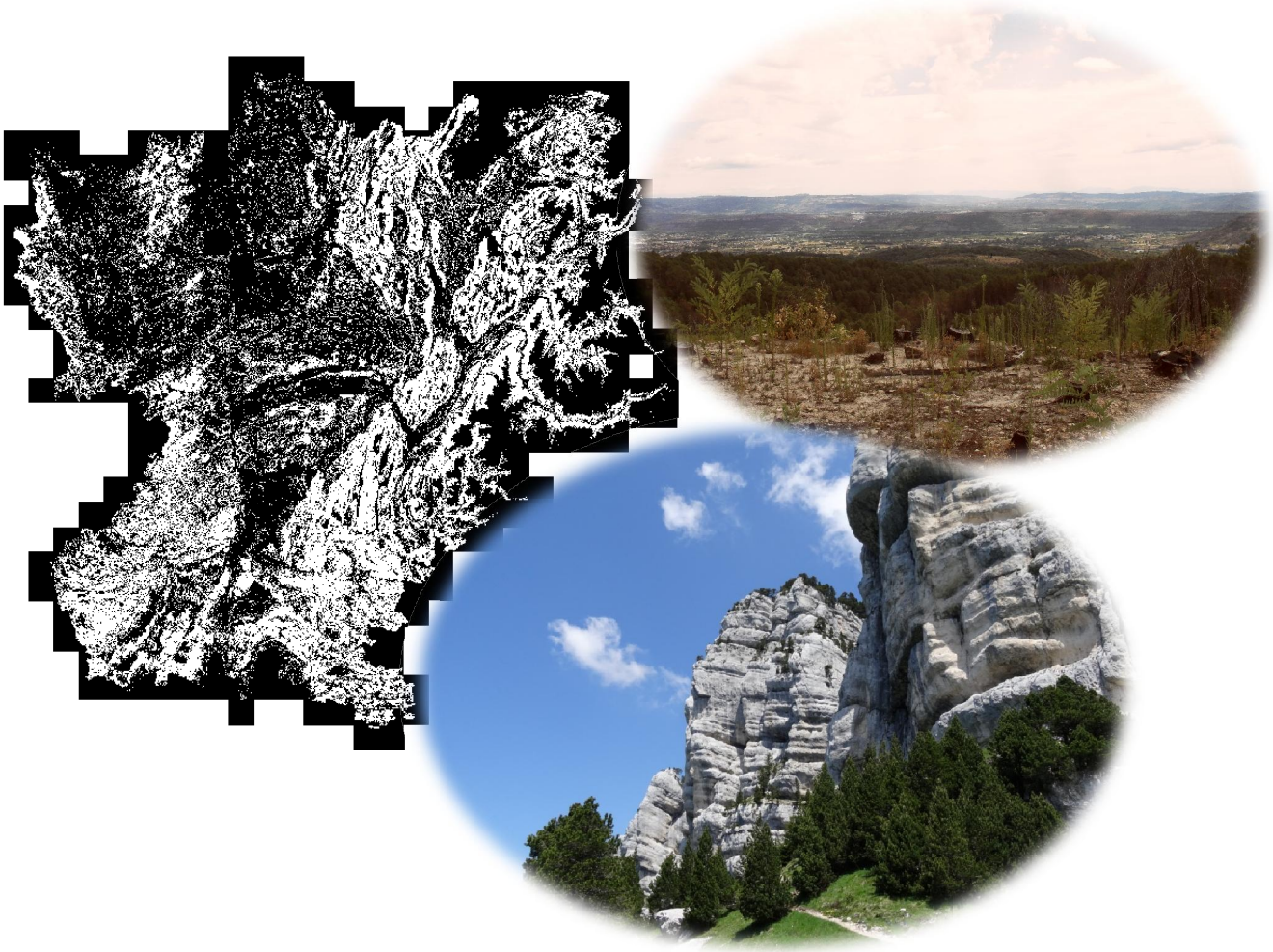
Télédétection et cartographie des coupes rases en Rhône-Alpes



Dominante d'approfondissement : Ressource Forestière et Filière

Flavie Ferrer *2014/2015*

Maître de stage : Laurent Charnay, responsable du pôle forêt et gestion durable au SERFOBE de la DRAAF Rhône-Alpes

Tuteur universitaire : Christian Piedallu, enseignant chercheur au centre AgroParistech de Nancy

Crédit photo: Flavie Ferrer

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLEVES

AgroParisTech	TRAVAUX D'ÉLEVES
TITRE : Télédétection et cartographie des coupes rases en Rhône-Alpes	Mots clés : télédétection, coupes-rases, automatisation
AUTEUR(S) : Flavie Ferrer	Promotion : "FIF" 23 ENSTIB : 27
Caractéristiques : 71 Pages, 22 Figures, 9 Tableaux, 3 Annexes	

CADRE DU TRAVAIL

ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT : DRRAF – SERFOBE Rhône-Alpes

Nom du responsable : Mathilde MASSIAS

Fonction : Chef de Service

Nom du correspondant AgroParisTech : Christian PIEDALLU

☐ Spécialité Double diplome ENSTIB- AgroParisTech DA RFF-Master BFD	☐ Stage 2A ■ Stage fin d'études Date de remise : **26/10/2015**	☐ Autre

SUITE À DONNER (réservé au Service des Etudes)

☐ Consultable et diffusable

☐ Confidentiel de façon permanente

☐ Confidentiel jusqu'au ……/……/…… , puis diffusable

Résumé

Ce rapport présente le travail effectué lors d'un stage de fin d'étude. L'objectif du stage était d'améliorer et d'exploiter une méthode de télédétection des coupes rases pour les massifs forestiers des Chambaran et du Beaujolais. L'outil choisi est une automatisation de la méthode de cartographie et de télédétection des coupes rases proposée par l'Irstea de Montpellier, via des images acquises par le programme Géosud. Le principe de la méthode est l'analyse de l'évolution de l'indice de végétation normalisé (NDVI) entre deux années. L'automatisation de la méthode est réalisée via un algorithme rédigé en Libre Office Basic. L'intégralité du traitement d'image est assurée par des fonctions de Gdal et d'OrfeoToolbox, soit des librairies de fonctions du logiciel Qgis. Les résultats présentés sont issus du traitement automatique d'images acquises par les satellites Rapideye entre 2011 et 2012, SPOT 5 et 6 entre 2013 et 2014. Pour chaque période, une image en différence de NDVI est calculée entre la première et la deuxième année. La détection des coupes est réalisée pour trois valeurs seuil de différence de NDVI entre deux années qui permettent d'attribuer un degré de certitude aux coupes. Le seuil le plus discriminant permet d'équilibrer au mieux le nombre de fausses détections et de coupes omises. De manière générale, plus la taille des coupes est petite, plus leur détection est difficile. La finalité des résultats est de permettre d'optimiser les plans de contrôles et de suivi de la gestion durable des forêts par les directions départementales des territoires.

Abstract

This training report presents the work done during an end-of-year internship. The aim of the practice was to improve and exploit a remote sensing method of clear cuts detection on Chambaran and Beaujolais forests. The principle is to compare the normalized vegetation index[1] of two images issued from the Geosud program. The tool chosen is a script written in Basic on Libre Office Basic based on a method designed by Irstea of Montpellier.

The whole treatment is allowed by functions from both Gdal and OrfeoToolbox libraries on Qgis software. Results presented further in the report have been generated with the automatic tool of clear cuts detection on Chambaran massif between 2010 and 2013 with images from Rapideye, SPOT 5 and 6 satellites. Each year a picture of NDVI difference between two years is generated. Three thresholds of NDVI difference have been chosen for this exercise. The most severe one allows to limit the number of wrong detections even if some of the clear cuts are not detected. The more the clear cut has an important area, the more it is likely to be detected. The aim of this method is to help State services in departments of Rhône-Alpes region to organize their control of sustainable management of the forest.

[1] Abrévié NDVI dans la suite du texte

Remerciements

Je tiens à remercier les personnes qui m'ont accompagnée durant ce stage. En premier lieu M. Laurent CHARNAY mon maître de stage qui a été très présent et dont les bonnes idées ont été d'un grand secours tout au long de ce travail. Je suis reconnaissante à la DRAAF Rhône-Alpes et plus particulièrement au service de la forêt qui m'a accueillie chaleureusement pendant ces six mois : Mme Mathilde MASSIAS, Mme Danielle ARMENGAUD, Mme Marie-Noëlle BARTHOLIN, Mme Chantal FAURE, Mme Maryline MIGDAL, M. Frédéric GILLET, M. Didier DARGERE et M. Nicolas STACH. Merci aussi à Mme Catherine PERILLAT et M. Laurent HIVER du pôle pour la valorisation de données à la DRAAF pour leur participation au projet.

Je suis également reconnaissante à M. Kenji Osé pour son appui tout au long de mon stage et à M. Christian Piedallu pour avoir bien voulu me suivre.

De manière générale, j'exprime ma gratitude à l'ensemble des acteurs de la filière forêt-bois qui ont participé à la mise en place du projet, les agents des DDT de Rhône-Alpes, l'IGN, L'IRSTEA, la maison de la télédétection, le programme Géosud…

Enfin, je voudrais remercier Madame Laurette Westrich pour avoir bien voulu imprimer ce document.

Sommaire

Introduction 7
2 Une filière forêt-bois en mutation 8
2.1 La filière forêt-bois en Rhône-Alpes 8
2.1.1 Des forêts variées 8
2.1.2 Une filière forêt-bois dynamique en Rhône-Alpes 9
2.1.3 Une consommation de bois énergie à la hausse pour l'avenir... 10
2.1.4 ...S'accompagne d'une mobilisation du bois favorisée par le gouvernement: 11
2.2 Un partenariat pluridisciplinaire entre la DRAAF, les DDT, l'IRSTEA et l'IGN 12
2.2.1 La DRAAF, service déconcentré du MAAF en région 12
2.2.2 Articulation des partenariats dans le projet de télédétection des coupes rases 14
3 Evolution de la détection des coupes rases 15
3.1 Méthodes actuelles de détection des coupes rases 15
3.1.1 Télédétection des coupes rases (IRSTEA) 15
3.1.2 Méthodes habituelles de détection des coupes par les DDT 19
3.1.3 Télédétection des coupes rases dans le massif landais 19
3.1.4 Nécessité d'automatiser la méthode… 19
3.2 Adaptation de la méthode 20
3.2.1 Calcul de la réflectance Top of Atmosphere 20
3.2.2 Tuilage des images pour fluidifier le traitement 21
3.2.3 Intégration du masque forêt lors du calcul de NDVI 21
3.2.4 Gestion du recouvrement des tuiles 22
3.2.5 Détection des coupes rases et appui des DDT 22
4 Des résultats inféodés à la qualité de l'image en entrée 23
4.1 Production des résultats et interprétation 23
4.2 Des interférences nombreuses liées à la qualité des images livrées 23
4.2.1 La date d'acquisition des images influence le NDVI et fausse la détection 23
4.2.2 Interférences liées aux nuages et aux ombres 28
4.3 Résultats finaux 29
4.4 Discussion des résultats 32
4.5 Utilisation concrète des résultats 33
4.6 Avis des agents des DDT 34
5 Déploiement de la nouvelle méthode 34
Conclusion 35
Bibliographie 36
Annexes 37

Introduction

Le stage de fin d'étude est l'occasion de découvrir une thématique professionnelle et de mettre en œuvre ses capacités sur un projet concret. Le présent rapport a été rédigé de Mars à Août 2015 pour répondre à un sujet proposé par le service de la forêt, du bois et des énergies (SERFOBE) de la direction régionale de l'alimentation de l'agriculture et de la forêt (DRAAF) de Rhône-Alpes. Le contexte de la filière forêt-bois en Rhône-Alpes a renforcé la volonté de procéder à une gestion durable des forêts, notamment grâce aux plans de contrôle des directions départementales des territoires (DDT). Une méthode de cartographie par télédétection des coupes rases avait fait l'objet d'un stage deux ans plus tôt sur le massif des Chambaran. La cartographie des coupes rases est un outil qui permet de vérifier la mise en œuvre effective des documents de gestion durable et d'identifier d'éventuelles infractions au code forestier, mais également sous certaines conditions d'estimer la récolte annuelle et sa durabilité. Après deux ans de maturation du projet, un second stage a été formulé avec pour objectifs d'établir puis d'exploiter une cartographie des coupes rases dans des massifs forestiers emblématiques de la région : les Chambaran et le Beaujolais, en élaborant une méthodologie d'utilisation des résultats de télédétection des coupes rases pour optimiser les plans de contrôle des DDT. Elle sous-entendait que la cartographie des coupes rases soit automatisée. De fait, la zone d'étude a été étendue à la région, compte-tenu des possibilités d'automatisation du procédé de cartographie. Les résultats sont le fruit d'une comparaison d'images satellites diachroniques issues du programme Geosud sur les zones d'intérêt pour détecter des coupes rases et devaient être validés par un étalonnage de terrain ou par photo-interprétation. Le contexte de la filière forêt-bois en Rhône-Alpes sera abordé pour mieux comprendre l'utilité d'un tel outil, avant l'explication concrète de son fonctionnement et des difficultés rencontrées au cours de son élaboration. Les résultats obtenus pour la zone des Chambaran permettront d'illustrer l'utilisation de l'outil et ses limites.

En parallèle du rapport de stage, un guide d'utilisation de l'outil de télédétection a été rédigé. Il sera présenté en annexe 3. Les types d'images utilisés sont présentés en annexe 2.

1 Une filière forêt-bois en mutation

1.1 La filière forêt-bois en Rhône-Alpes

1.1.1 Des forêts variées

Les forêts couvrent 39% du territoire rhônalpin, soit 1 762 000 ha à 76% privés et recouvrent des ensembles biogéographiques variés[1] : le massif central, les plaines et piémonts, les montagnes océaniques, les montagnes continentales, les vallées, plaines et montagnes à caractère méditerranéen. La proportion de résineux dans le volume sur pied les forêts de Rhône-Alpes est importante au regard de la moyenne nationale (respectivement 54 et 36 %). Elle est inhérente à la présence de relief, qui constitue un obstacle à l'exploitation. Le relief génère aussi des ombres sur les images satellites[2]. L'altitude y est supérieure à 800 m sur 36% du territoire[3]. Les forêts implantées au dessus de 800 m d'altitude représentent 50% de la surface forestière régionale de production et sont majoritairement composées de conifères (voir annexe 1). A l'échelle de la région les surfaces forestières de production sont occupées à 60% par des feuillus, mais le volume sur pied constitué par les résineux est majoritaire avec 54% du volume régional sur pied (170 Mm^3), ce qui s'explique en partie par la grande proportion de résineux pour les arbres de catégorie gros bois – très gros bois[4] qui représentent 72% du volume sur pied pour ces deux catégories confondues. Les essences présentes dans la région sont variées (voir Tableau 1).

Tableau 1: RÉSULTATS D'INVENTAIRE FORESTIER – RÉSULTATS STANDARDS (campagnes 2009 à 2013) – Tome administratif Rhône-Alpes

La composition des peuplements			
Surface forestière de production par essence principale			
	Surface		
Essence principale	x 1 000ha		
Hêtre	200	±	16
Chêne pubescent	190	±	21
Chêne rouvre	116	±	21
Châtaignier	102	±	15
Frêne	106	±	16
Grand érable	n.s.		
Autre feuillus	246	±	23
Tous feuillus	980	±	37
Épicéa commun	176	±	19
Sapin pectiné	153	±	18
Pin sylvestre	149	±	18
Douglas	60	±	12
Autres conifères	89	±	15
Tous conifères	627	±	32
Toutes essences	1607	±	33

[1] Selon le découpage adopté par l'Inventaire Forestier National

[2] Remarque : la sylviculture en montagne se manifeste souvent par un traitement en futaie irrégulière, la télédétection des coupes rases est donc d'un intérêt limité pour ces zones.

[3] Source : RÉSULTATS D'INVENTAIRE FORESTIER – RÉSULTATS STANDARDS (campagnes 2009 à 2013) – Tome administratif : Rhône-Alpes, IGN

[4] D'après les définitions de l'IGN : gros bois de 47,5 à 67,5 cm de diamètre, très gros bois plus de 67,5 cm de diamètre

1.1.2 Une filière forêt-bois dynamique en Rhône-Alpes

Depuis cinq ans, la récolte annuelle régionale commercialisée s'élève à 2,5 millions de m^3, soit 7% de la récolte nationale (voir Tableau 2). De fait, la région Rhône-Alpes figure à la troisième place du classement national en termes de récolte. Les enquêtes annuelles de branche montrent que le prélèvement n'est pas homogène à l'échelle de la région. Tout d'abord, de nombreuses forêts sont difficilement exploitables à cause du relief. Rappelons que d'après les résultats de l'inventaire forestier, 65% du volume de bois sur pied est situé dans des zones difficilement exploitables. Ensuite la forêt est très morcelée, la surface moyenne des propriétés est de 1,9 ha pour 461 450 propriétaires d'après le cadastre et chaque propriété forestière est en moyenne composée de 5 parcelles, souvent disjointes. Ainsi les propriétés dotées d'un plan simple de gestion ne représentent que 10% de la surface des forêts privées. Les propriétés gérées ne capitalisent pas de bois et beaucoup des forêts publiques de Rhône-Alpes ont même subi une décapitalisation lors de leur dernier aménagement. De fait, les bassins d'approvisionnement qui correspondent aux massifs gérés ne sont pas sous-exploités, d'où l'intérêt de surveiller la gestion de la ressource.
Les départements les plus productifs sont l'Isère et la Loire, avec respectivement 449 000 m^3 et 404 000 m^3 récoltés en 2013 (voir Tableau 2).

Tableau 2: Enquête exploitations forestières et scieries 2013 - Agreste Rhône-Alpes

LA RECOLTE DE BOIS (en milliers de m^3)	Ain	Ardèche	Drôme	Isère	Loire	Rhône	Savoie	Haute-Savoie	Rhône-Alpes	France
Bois d'œuvre	252	170	59	242	345	301	222	238	1 829	18 535
dont conifères	200	168	47	209	340	293	215	236	1 708	13 673
sapin-épicéa	177	63	38	200	185	136	209	232	1 240	6 512
douglas	10	76	ε	4	123	149	3	2	367	2 107
feuillus	52	2	12	33	5	8	7	2	121	4 862
Bois d'industrie	31	35	63	74	27	27	3	1	261	10 403
Bois énergie	69	58	52	133	32	29	40	33	446	6 915
TOTAL RECOLTE	352	263	174	449	404	357	265	272	2 536	35 853
dont bois certifié	172	96	61	105	144	103	120	75	876	18 581
LA PRODUCTION DES SIAGES (en milliers de m^3)										
conifères	298	80	35	154	160	58	91	153	1 029	6 544
dont sapin-épicéa	274	26	31	139	91	25	87	151	824	3 626
douglas	16	33	3	11	51	33	2	1	150	751
feuillus	38	1	3	5	2	4	ε	ε	53	1 305
TOTAL SCIAGES	336	81	38	159	162	62	91	153	1 083	7 901
dont sciages certifiés	97	26	27	51	20	12	40	12	285	3 074

L'Isère se place en tête de la production de bois énergie avec 133 000 m^3 en 2013 contre 30 000 à 70 000 m^3 pour les autres départements (voir Tableau 2).
La production de sciages est de 1 029 000 de m^3 de résineux et 53 000 de m^3 de feuillus[1]. Le principal producteur de sciages est le département de l'Ain avec 336 000 m^3 (dont 298 000 m^3 de résineux) pour l'année 2013.

[1] Source : Enquête exploitations forestières et scieries 2013 - Agreste Rhône-Alpes

Le bois industrie est majoritairement récolté en Isère (74 000 m^3) et dans la Drôme (63 000 m^3) pour 261 000 m^3 au total. Le bassin d'approvisionnement privilégié est celui des Chambaran pour ces départements. Il s'agit donc d'une zone d'étude de choix.
En croisant les données de l'Inventaire Forestier National (IGN) avec celles de l'Enquête annuelle de branche exploitations forestières et scieries (Agreste), il est possible d'estimer un taux de prélèvement de chaque département (voir tableau 3). Deux éléments sont à prendre en compte à la lecture de ce tableau :

- le prélèvement tel qu'il est présenté par l'enquête exploitations forestières et scieries ne prend en compte ni l'autoconsommation[1] ni le commerce illégal de bois énergie.
- l'accroissement biologique calculé par l'IGN semble surestimé[2]

Tableau 3: Estimation du taux de prélèvement en Rhône-Alpes

Production et prélèvement de bois en Rhône-Alpes					
	Accroissement biologique annuel [3]			Prélèvement déclaré commercialisé[4]	Estimation du taux de prélèvement
	Volume			Volume	Pourcentage
Département	Mm^3/an			Mm^3 en 2013	%
Ain	1,3	±	0,1	0,35	27
Ardèche	1,5	±	0,2	0,26	18
Drôme	0,9	±	0,1	0,17	19
Isère	1,9	±	0,2	0,45	24
Loire	1,3	±	0,2	0,4	36
Rhône	0,6	±	0,1	0,36	60
Savoie	1,2	±	0,1	0,27	22
Haute-Savoie	1,2	±	0,1	0,27	23
Rhône-Alpes	9,8	±	0,4	2,54	26

Le prélèvement effectué paraît inférieur à l'accroissement biologique. Néanmoins dans le Rhône et la Loire, les taux de prélèvement calculés avec la production commercialisée atteignent respectivement 60 et 36%. Sachant que le prélèvement total est significativement plus élevé et en supposant que l'accroissement biologique pourrait être plus faible, les taux de prélèvements sont donc plus importants en réalité. Par ailleurs le taux d'exploitation dépend très fortement de l'accessibilité des massifs. Par conséquent, il est essentiel de pouvoir surveiller les coupes de bois en forêt pour assurer le renouvellement de la ressource en particulier dans les massifs exploitables.

1.1.3 Une consommation de bois énergie à la hausse pour l'avenir…

La croissance régulière et soutenue du nombre et de la puissance cumulée des chaufferies bois s'accentue encore en 2012 et 2013 avec la mise en service des premières installations industrielles de forte puissance. Cette tendance sera renforcée dans les prochaines années et une certaine tension se fait déjà ressentir sur la ressource forestière. À moyen terme, l'émergence de nouveaux

[1] Source : Enquête exploitations forestières et scieries 2013 - Agreste Rhône-Alpes
[2] À dires d'expert
[3] Source : RÉSULTATS D'INVENTAIRE FORESTIER – RÉSULTATS STANDARDS (campagnes 2009 à 2013) – Tome administratif : Rhône-Alpes, IGN
[4] Source : Enquête exploitations forestières et scieries 2013 - Agreste Rhône-Alpes

projets marque légèrement le pas et la forte croissance actuelle du parc de chaufferies devrait s'infléchir [1] *.*
L'observation régionale de l'offre et de la demande en bois-énergie (hors chauffage individuel) réalisée conjointement par l'ADEME et la DRAAF confirme donc qu'une attention particulière doit être portée aux prélèvements de bois en forêt. De 2011 à 2013, la consommation de combustibles bois a augmenté de 54% (soit 761 000 tonnes en 2013). En 2013, la plaquette forestière représente 40% des combustibles bois, soit 79% de plus qu'en 2011. Cette évolution est liée à l'introduction d'un taux minimum de plaquettes forestières dans les cahiers des charges des dispositifs d'aide.

1.1.4 …S'accompagne d'une mobilisation du bois favorisée par le gouvernement:

La filière-forêt bois naguère vacillante trouvera peut-être un nouveau dynamisme avec la parution de textes officiels favorisant son développement. La loi de modernisation de l'agriculture de la pêche du 27 juillet 2010 par exemple a permis la formulation des plans pluriannuels régionaux de développement forestier. Chaque plan doit dans un premier temps identifier les massifs prioritaires en région qui permettent de mobiliser du bois ou qui permettraient d'en mobiliser plus. Un programme d'actions est établi à cet effet, dans le respect de la gestion durable et de la multifonctionnalité des forêts. Par le biais de la loi, des actions prévoient notamment d'encourager la mobilisation du bois via des aides financières telles que le « compte d'investissement forestier et d'assurance », le dispositif d'encouragement fiscal à l'investissement, la possibilité pour les régions de pré-financer les travaux d'exploitation dans les zones difficiles d'accès. D'autres encore visent à sécuriser les approvisionnements des industriels grâce à la contractualisation…
Le 16 décembre 2014 les ministres en charge de l'écologie, (Ségolène Royal), de l'agriculture, (Stéphane Le Foll), de l'économie, (Emmanuel Macron) et du logement (Sylvia Pinel), signent le contrat de filière du comité stratégique de la filière bois afin de définir les engagements nécessaires à son développement. Ces engagements responsabilisent l'État, les régions et les acteurs professionnels. La mobilisation du bois est promue par le Gouvernement et les Régions par le biais du fond stratégique de la forêt et du bois défini dans la loi d'avenir pour l'agriculture l'alimentation et la forêt de 2014 (LAAF 2014) et de l'élargissement du périmètre du fond chaleur géré par l'ADEME. À cet effet, le contrat stratégique de la filière bois prévoit la mobilisation annuelle de 30 millions d'euros issus du fond chaleur de l'ADEME[2].
Ces 30 millions d'euros seront distribués sous forme de subventions pour financer la mobilisation du bois et l'amélioration des peuplements, suite à un appel à manifestation d'intérêt « DYNAMIC Bois » lancé par l'ADEME. Le financement est assuré par le budget du ministère de l'Environnement et l'administration des dossiers réalisée conjointement par les ministères de l'Agriculture (DRAAF à l'échelle régionale) et de l'Environnement (DREAL à l'échelle régionale) sous contrôle du conseil supérieur de la Forêt et du Bois. Les critères discriminants de l'appel à manifestation d'intérêt sont les investissements matériels ou immatériels pour la collecte de bois, les investissements d'amélioration des peuplements et l'animation des acteurs concernés[3]. L'augmentation des prélèvements de bois en forêt est donc un sujet soutenu et suivi par le gouvernement. Si la mobilisation de bois en forêt est indispensable au bon développement de la filière, il est tout aussi important d'assurer le renouvellement de la ressource et donc d'assurer une gestion durable des forêts.

---

[1]Source : Observation régionale de l'offre et de la demande en bois-énergie –ADEME, DRAAF

[2] Source : Le contrat de filière CSF Bois – Conseil national de l'industrie

[3] Source : Appel à projet ADEME -Mobilisation du bois 2015 – 30 millions d'euros, Message de Nicolas Douzain-Didier -Fédération nationale du bois

1.2 Un partenariat pluridisciplinaire entre la DRAAF, les DDT, l'IRSTEA et l'IGN

1.2.1 La DRAAF, service déconcentré du MAAF en région

La Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DRAAF) met en œuvre au niveau régional les politiques du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF). Il s'agit d'un service déconcentré de l'État au niveau régional. Les missions confiées à la DRAAF définies par le décret n°2010-429 du 29 avril 2010 sont exercées sous les autorités du préfet de région et du Ministre chargé de l'agriculture.

Les missions gérées par la DRAAF sous l'autorité du préfet de région couvrent des domaines divers : le développement rural, l'économie agricole, l'agroalimentaire, la politique de l'alimentation, la surveillance biologique du territoire, les contrôles sanitaires, la politique forestière, la mobilisation de la ressource en bois… Les missions à champs d'action plus générale sont placées sous l'autorité du MAAF, il s'agit par exemple de la production de données statistiques, économiques, ou de la gestion de l'enseignement technique agricole. Le siège de la DRAAF Rhône-Alpes se situe à Lyon. Les six services de l'organisme emploient environ 180 personnes. Le service encadrant du stage est le Service Régional de la Forêt, du Bois et des Énergies (SERFOBE).La présence d'un service dédié à la forêt au sein de la DRAAF est aujourd'hui anecdotique. En effet, il n'existe plus que trois services encore dédiés à la forêt pour toutes les DRAAF de France : en Aquitaine, en Île-de-France et en Rhône-Alpes. Le contrôle du domaine forestier est plus généralement associé à l'économie agricole et au développement rural. Cependant, la réforme territoriale et la création de grandes régions administratives pourraient inverser la tendance. Le SERFOBE rhônalpin est constitué de neuf agents dont les missions sont réparties au sein de trois pôles :

- le pôle forêt et gestion durable en charge de l'approbation des Plans Simples de Gestion (PSG) pour les forêts privées et les Plans d'Aménagements Forestiers pour les forêts publiques, du contrôle du matériel forestier de reproduction (graines et plants) et de l'attribution des aides sylvicoles ou destinées à la desserte ;
- le pôle filière-bois et énergies renouvelables en charge du suivi des aides aux entreprises de la filière bois, de contrôler les entreprises certifiées NIMP15 mais aussi missionné pour l'expertise dans le secteur bois-énergie ;
- le pôle juridique en relation avec le parquet pour les poursuites en cas d'infractions forestières (coupe non autorisée, incendie, infraction de chasse…). Il permet aussi le suivi de l'évolution de la réglementation pour l'ensemble du service et valide les affiliations à la Mutuelle Sociale Agricole (MSA) des Entrepreneurs de Travaux Forestiers pour légitimer leur activité.

1.2.1.1 Les Direction départementales des territoires (DDT)

Ce service déconcentré de l'État a été créé le 1er janvier 2010 après fusion des Directions Départementales de l'Équipement (DDE) et des Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF). Placées sous l'autorité du préfet de département, les DDT possèdent la forme d'une direction départementale interministérielle dépendante des services du Premier Ministre. Les missions des DDT sont diverses :

- promotion du développement durable ;
- prévention des risques naturels ;
- mise en œuvre des politiques agricoles pour le développement de filières de qualité ;
- mise en œuvre des politiques en matière d'environnement, d'aménagement, d'urbanisme, de logement, de construction et de transport.

Les DDT ont le rôle crucial de protéger la forêt et de s'assurer de leur gestion durable en appliquant les mesures de police administrative et judiciaire prévues par le Code Forestier. Le constat des coupes et des défrichements non autorisés notamment est de leur ressort. L'application de la réglementation concernant les coupes est liée à quatre articles du code forestier :

- Autorisation préalable des coupes de plus de 4 ha[1] prélevant plus de 50% de la futaie pour l'article L124-5 (ex L10) du Code forestier ;
- Obligation de reconstituer l'état boisé sous 5 ans après pour l'article L124-6 (ex L9) du Code forestier[2] ;
- Autorisation préalable des coupes en l'absence de Plan Simple de Gestion en forêt privée (forêts placées sous régime d'autorisation administrative) pour l'article R312-12 du Code forestier ;
- Autorisation de défrichement pour l'article L341-3 du Code forestier ainsi que le code de l'urbanisme.

Dans le cadre du stage, les DDT sont donc des partenaires indispensables et les utilisateurs finaux de la détection des coupes rases. Les agents engagés dans le projet ont permis de procéder à la phase d'étalonnage de la méthode, notamment en comparant les résultats numériques à la réalité du terrain. A l'issue du stage, la méthodologie de détection des coupes rases devrait être déployée sur la future région Auvergne-Rhône-Alpes. Les résultats obtenus seront fournis aux DDT pour leur permettre d'optimiser leurs plans de contrôle des coupes et le suivi de la gestion durable.

1.2.1.2 L'IRSTEA

L'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture est le partenaire technique du projet. Le Centre national du machinisme agricole du génie rural et des eaux et des forêts est né en 1981 de la fusion du centre technique du génie rural des eaux et des forêts (CTGREF) et du centre national d'études et d'expérimentation du machinisme agricole (CNEEMA). En trente années d'activité, les missions du Cemagref se sont réorientées des problèmes de mécanisation et d'aménagement rural vers une thématique agro-environnementale. Le onze novembre 2011, son nom devient Irstea : institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, pour mieux refléter la réalité de fonctionnement. L'Irstea emploi actuellement 1650 personnes réparties dans neuf directions régionales. L'institut propose une recherche en appui aux politiques publiques grâce à une coopération avec les ministères de l'Écologie et de l'Agriculture, les collectivités territoriales et les services déconcentrés de l'État. Des conventions de recherche ont été établies avec l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) ainsi qu'avec l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME).
L'Irstea a élaboré la méthodologie de détection et cartographie des coupes rases par télédétection satellitaire dans le cadre d'une commande du ministère de l'agriculture pour les DRAAF de Rhône-Alpes et de Bourgogne.

1.2.1.3 L'IGN

L'institut national de l'Information Géographique et Forestière (IGN-IFN) est un organisme national qui par sa production de cartes et d'inventaires participe à l'aménagement du territoire, au développement durable, à la sécurité nationale, à la prévention des risques et au développement de l'information géographique forestière en France et à l'international. Ses missions fixées par l'État sont de décrire d'un point de vue géométrique et physique la surface du territoire national et l'occupation de son sol. Il a aussi pour rôle d'élaborer et de mettre à jour l'inventaire permanent des

[1] Ce seuil peut être abaissé par le préfet de département.
[2] Le seuil dépend des départements

ressources forestières nationales. A partir des données recueillies dans le cadre de ses missions de service public, l'institut est autorisé à commercialiser des produits et services.
Dans le projet de télédétection des coupes rases notamment, l'IGN orthorectifie les images satellitaires acquises par le programme Geosud.

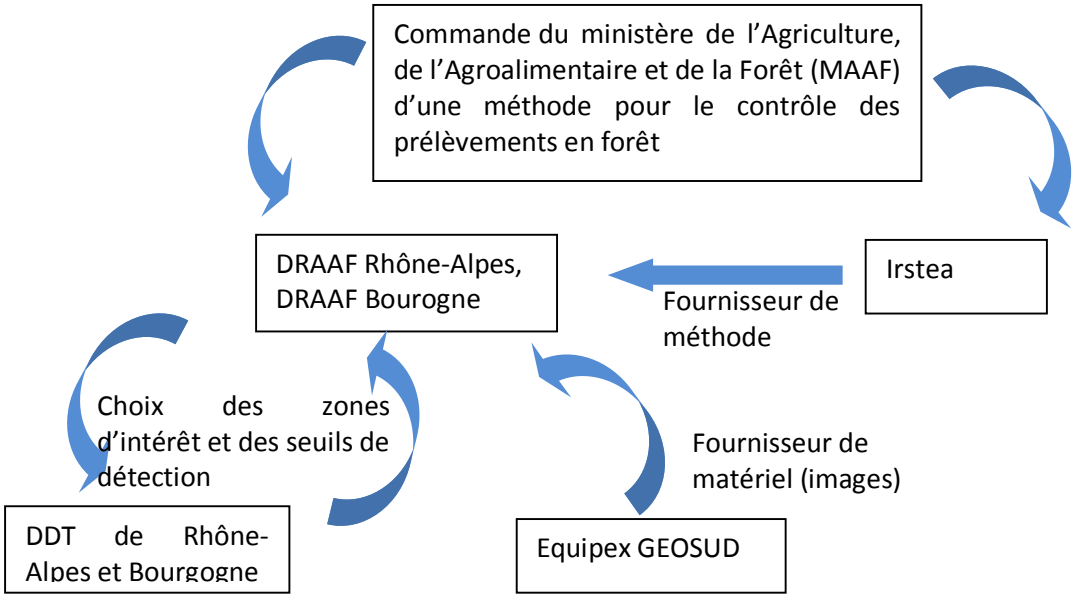
1.2.1.4 Equipex Géosud

Le projet EQUIPEX GEOSUD a été sélectionné dans le cadre de l'appel à projets « Equipement d'Excellence » du programme investissements d'avenir en 2011. Le projet propose de développer une infrastructure nationale de données satellitaires accessibles gratuitement par la communauté scientifique et les acteurs publics. Il prévoit d'assurer pendant cinq années l'acquisition et la mise à disposition de couvertures satellitaires annuelles d'été de la France. Il assure aussi la valorisation de la donnée en favorisant l'échange d'informations sur le réseau de la communauté scientifique et des acteurs publics utilisant ces images. Le programme fonctionne grâce à la participation de treize partenaires dont l'Irstea qui est aussi le coordinateur du projet). Les images satellitaires de la région Rhône-Alpes sont acquises grâce au programme Geosud.

1.2.2 Articulation des partenariats dans le projet de télédétection des coupes rases

Le projet d'intégration des coupes rases dans les services des DRAAF pour surveiller les prélèvements en forêt émane d'une commande du ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt pour l'Irstea afin d'établir une méthode de surveillance systématique des coupes rases en forêt. Le partenaire technique, fournisseur de méthode est l'Irstea. Un second partenariat a été établi avec l'Equipex Geosud (fournisseur de donnée) pour obtenir des images couvrant la région Rhône-Alpes. Les DRAAF de Bourgogne et de Rhône-Alpes sont chargées de mettre en œuvre la méthodologie de télédétection et de livrer la cartographie des coupes rases aux utilisateurs finaux que sont les DDT. La télédétection des coupes rases a fait l'objet d'un stage en 2013 au SERFOBE Rhône-Alpes, pour la zone des Chambaran dont les résultats seront rappelés ci-après.

Figure 1: Fonctionnement du projet de télédétection des coupes rases



2 Evolution de la détection des coupes rases

2.1 Méthodes actuelles de détection des coupes rases

2.1.1 Télédétection des coupes rases (IRSTEA)

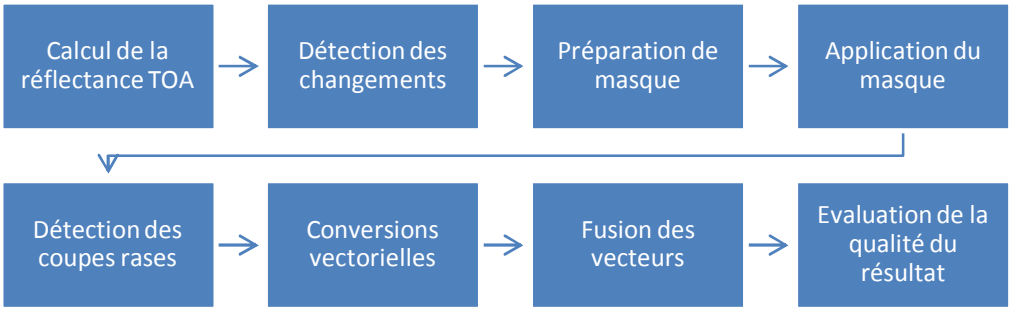
La méthode de télédétection des coupes rases telle qu'elle a été livrée par l'IRSTEA à l'issue de la commande du MAAF propose de repérer les coupes rases en étudiant la variation des valeurs de l'indice de végétation (NDVI) pour deux images satellites diachroniques sur Qgis®[1].
Chaque image possède quatre bandes dont deux enregistrant respectivement les variations du spectre de couleur rouge et les variations du spectre du proche infrarouge.

L'indice de végétation normalisé est calculé ainsi : $NDVI = \frac{\rho PIR - \rho rouge}{\rho PIR + \rho Rouge}$ avec ρ symbole de la réflectance.
Les valeurs prises par le NDVI sont comprises entre -1 et 1. Les valeurs positives correspondent à la végétation. Plus la valeur du NDVI est proche de 1, plus le couvert végétal est susceptible d'être dense. Les valeurs proches de 0 indiquent un sol nu, alors que les valeurs négatives reflètent la présence d'eau : neige, lac, rivière, mer, nuages, ombre de nuages[2]. Les images utilisées durant le stage sont issues de plusieurs satellites : Rapideye pour l'année 2012, Spot 5 et 6 pour 2013 et Spot 6 pour 2014. Si les caractéristiques des satellites varient, les deux bandes indispensables au calcul de NDVI le rouge et l'infrarouge, sont toujours enregistrées.

2.1.1.1 Chaîne de télédétection classique des coupes rases dans la méthode de l'IRSTEA

Considérons deux images d'une même zone forestière enregistrées à une année d'intervalle, les images 1 et 2 par exemple. La chaîne de traitement des images telle qu'elle est présentée par l'IRSTEA propose le processus suivant (voir Figure 2) et traite chaque image pixel par pixel.

Figure 2: Chaîne de traitement de l'image pour la télédétection des coupes rases (manuel) [3]



2.1.1.2 Calcul de la réflectance Top Of Atmosphere

Les valeurs des pixels sont appelées comptes numériques. Les images livrées par l'IGN et l'Irstea sont donc composées de pixels codants des comptes numériques. Le calcul de la réflectance TOA permet de corriger les valeurs des pixels qui sont biaisées par les aérosols de l'atmosphère en tenant compte de l'angle zénithal solaire[4], de l'irradiance solaire[1] et des coefficients de calibration de gain et

---

[1] Les fonctions utilisées pour le traitement des images sont issues des librairies de Gdal et d'OrfeoToolbox
[2] Source : Indice de végétation NDVI – Drones Imaging Analyse et traitement des images aériennes
[3] Source : Détection et cartographie des coupes rases par télédétection satellitaire, Guide méthodologique UMR TETIS - IRSTEA
[4] Angle entre la surface de la Terre et le Soleil

d'offset[2]. Elle permet de limiter les variations de luminances liées à l'éclairement solaire qui change en fonction de la date et l'heure de prise de vue.

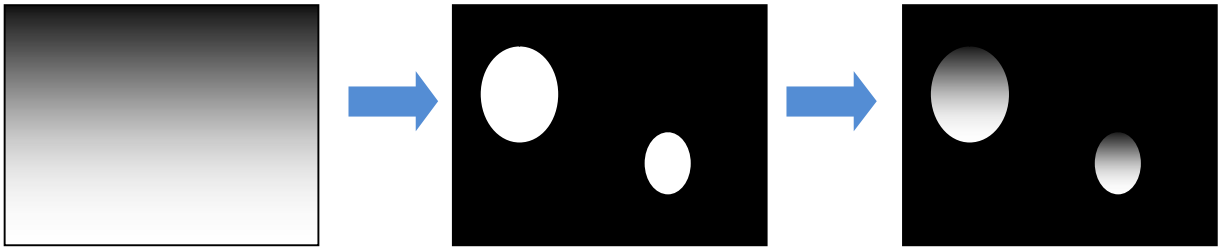
2.1.1.3 Détection des changements

La détection des changements regroupe deux étapes. Le NDVI est calculé pour les deux images. La différence de NDVI est obtenue par soustraction des valeurs de pixels de l'image 2 à l'image 1. Par construction, la différence de NDVI (ΔNDVI) est comprise entre -2 et 2. Une différence négative, indique une perte de végétation ou une artificialisation du sol entre les deux années. À l'inverse, une différence positive indique un recru de végétation. Si la différence est nulle, la végétation s'est maintenue d'une année sur l'autre.

2.1.1.4 Préparation et application du masque

Le masque est un raster qui figure les zones forestières à étudier. Il est obtenu à partir des bases de données (BD) forêts ou végétation de l'IGN. Appliquer le masque au raster de différence de NDVI permet d'obtenir un raster de différence de NDVI uniquement sur des zones de forêts pour un massif à étudier.

Schéma 1: Application du masque forêt



Couverture d'une zone en NDVI | Masque forêt de la zone | NDVI sur le masque forêt de la zone

2.1.1.5 Détection des coupes rases

L'étape de détection des coupes rases qui consiste dans un premier temps à catégoriser les pixels selon trois seuils de valeur. Si μ est la moyenne des valeurs prises par les pixels de l'image résultante et σ l'écart-type de ces valeurs, alors trois catégories de coupes sont retenues. Chaque catégorie correspond à un degré de certitude d'identification des coupes.

- Degré de certitude faible, degré 1 : $[(\mu - 2 \times \sigma) \leq \Delta NDVI < (\mu - \sigma)]$
- Degré de certitude moyen, degré 2 : $[(\mu - 3 \times \sigma) \leq \Delta NDVI < (\mu - 2 \times \sigma)]$
- Degré de certitude fort, degré 3 : $[-2 \leq \Delta NDVI < (\mu - 3 \times \sigma)]$

Après discrétisation des pixels par degré, le raster est filtré pour constituer des objets (polygones) de surface suffisante pour pouvoir être prise en compte lors des constats de défrichements et limiter les fausses détections. La surface peut varier en fonction des départements et notamment des seuils départementaux de surface pour les autorisations de coupes.

2.1.1.6 Conversions et fusions vectorielles

Le raster obtenu est converti en couche vectorielle, pour individualiser les coupes et en obtenir les surfaces. Il peut être nécessaire de fusionner les couches de polygones de plusieurs zones.

---

[1] Intensité du rayonnement solaire
[2] Coefficients propres au capteur du satellite

2.1.1.7 Contrôle des résultats

La dernière étape de la méthode est la vérification statistique des résultats, soit en comparant la couche vectorielle finale avec des orthophotos, soit en constatant sur le terrain la présence ou l'absence des coupes pour les emplacements indiqués par les polygones résultants. Il est alors possible de construire un tableau de comparaison en identifiant des zones à étudier. Pour obtenir ce résultat la couche shapefile correspondant aux résultats de télédétection àvérifier est affichée sur Qgis. Elle est alors superposée à une couche de référence[1] (un shapefile) qui ne contient que les coupes. Dans la couche de référence, une colonne « référence » est créée. Une centaine de polygones sont sélectionnés au hasard dans la couche « référence ». Cette couche contient autant voire plus d'erreur de comission que la couche à vérifier et n'omet presque pas de coupes. De fait, elle permet de contrôler les erreurs de commissions et d'omissidu shapefile à vérifier par comparaison.

Chaque polygone sélectionné dans « référence » est comparé à son homologue dans la couche à vérifier. Ainsi, si les deux couches présentent des polygones sur une vraie coupe, la valeur « 1 » est attribuée au polygone de la couche de référence (bonne détection). Si les deux polygones correspondent à une fausse détection (erreur de commission), la valeur 2 est attribuée au polygone de la couche de référence (erreur de commission). Si enfin un polygone est présent sur la couche de référence mais absent sur celle à vérifier alors qu'une coupe est présente, c'est la valeur « 0 » qui est attribuée (erreur d'omission).

Dans l'exemple suivant, les polygones numérotés de 1 à 5 correspondent à des zones choisies pour la comparaison (en pratique, pour valider la méthode, au moins 50 points de contrôle doivent être étudiés). L'on suppose que trois autres coupes, non identifiées par télédétection, sont repérées par photo-interprétation ou sur le terrain. La colonne « Télédétection » correspond à la couche vectorielle générée par télédétection, alors que la colonne « Référence » correspond à sa vérification. Dans la colonne « Télédétection », le chiffre 1 indique que le polygone est détecté en coupe. Dans la colonne référence, les 1 correspondent à une bonne détection, les 0 à des erreurs.

Tableau 4: Vérification de la couche vectorielle

Identifiant	Télédétection	Référence
1	1	1
2	1	1
3	1(erreur de comission)	2
4	1(erreur de comission)	2
5	1	1
6	x (erreur d'omission)	0
7	x (erreur d'omission)	0
8	x (erreur d'omission)	0

[1] La couche de référence est un résultat de télédétection généré pour un seuil de différence de ndvi faible.

Une matrice de confusion est alors élaborée à partir du tableau précédent, elle permet d'estimer l'erreur de commission, soit le pourcentage de fausses coupes identifiées par télédétection, ainsi que l'erreur d'omission, à savoir le pourcentage de coupes non identifiées par télédétection[1]:

Tableau 5: Matrice de confusion du fichier vecteur

		Télédétection				
		Non-coupe	Coupe	Total		**Précision producteur**
Référence	Non-coupe	x	2 (b)	2		38 %
	Coupe	3 (a)	3 (c)	5		**Erreur d'omission**
	Total	3	5	8		62 %
Précision utilisateur			60 %			
Erreur de commission			40 %		**Précision globale**	**30 %**

Les dénominations suivantes seront utilisées pour plus de clarté :

- a = Nombre de coupes non-répertoriées par télédétection qui existent en réalité ;
- b = Nombre de coupes répertoriées par télédétection qui n'existent pas en réalité (2) ;
- c = Nombre de coupes répertoriées par télédétection qui existent en réalité (3).

La précision utilisateur correspond à la valeur de b rapporté au nombre total de coupes répertoriées par télédétection (5).
L'erreur de commission correspond au pourcentage de coupes enregistrées par télédétection qui n'en sont pas en réalité (= 1 – précision utilisateur). La précision producteur correspond à la valeur de c rapportée au nombre total de coupes. L'erreur d'omission correspond au pourcentage de coupe non-répertoriées par télédétection par rapport à l'existant. La précision globale est égale à la précision producteur (% des coupes réelles détectées par la méthode) multipliée par la précision utilisateur (% de coupes identifiées par la méthode correspondant effectivement à une coupe réelle). Dans l'exemple, la précision globale est de 30 %, la précision utilisateur de 60% et la précision producteur de 50%. Aucune campagne de télédétection des coupes rases n'a permis d'établir de valeurs limites pour les erreurs d'omission et de commission. Pour le stage, les résultats peuvent être validés à partir d'une erreur de commission inférieure à 30%. En deçà de cette valeur, l'utilisation des résultats devient compliquée puisqu'au moins un objet sur trois ne correspond pas à une coupe. La valeur limite de l'erreur d'omission peut être fixée à 50%. Au-delà, les résultats ne sont pas suffisamment exploitables.

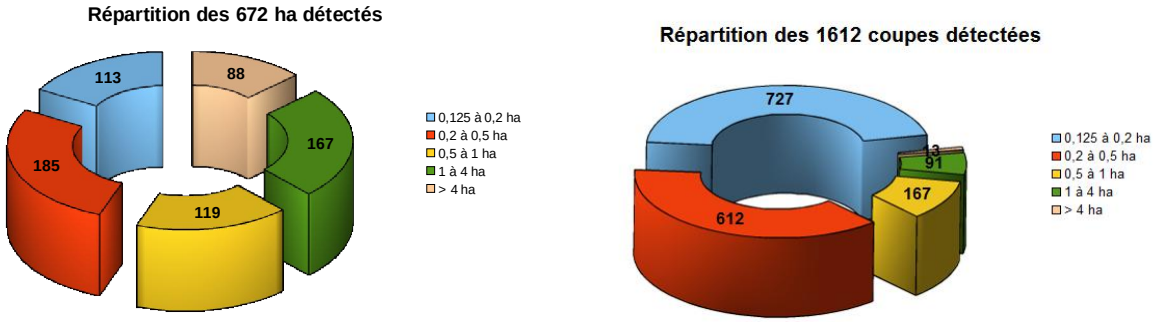
[1] L'estimation de l'erreur d'omission est délicate, car elle suppose d'avoir une référence qui répertorie déjà toutes les coupes pour la période étudiée.

2.1.1.8 Exemple de résultats dans les Chambaran

La télédétection des coupes rases dans le massif des Chambaran par la DRAAF Rhône-Alpes entre 2010 et 2011 a permis de repérer 672 ha de coupes pour une surface forestière de 39 800 ha répartie entre la Drôme et l'Isère.

Pour cette période, 60% des surfaces de coupes sont constituées de zones de moins de 1ha, soit 93% du nombre de coupes détectées (voir figure 3).

Figure 3: Répartition des coupes dans les Chambaran entre 2010 et 2011 en surface et en nombre de coupes



Si les résultats s'avèrent intéressants pour repérer les coupes par rapport aux méthodes habituelles, peu d'organismes se sont appropriés la méthode et les régions Aquitaine, Auvergne et Rhône-Alpes restent précurseuses en la matière. Le processus est chronophage et même si les résultats sont concluants, ni les DDT, ni le SERFOBE en Rhône-Alpes ne disposent de suffisamment de temps pour inclure ce traitement d'image dans l'organisation des tâches.

2.1.2 Méthodes habituelles de détection des coupes par les DDT

Habituellement, les constats de défrichements sont réalisés fortuitement. Les tournées sur le terrain et les trajets quotidiens sont autant d'occasion de découvrir des défrichements. Le signalement peut aussi être un moyen de repérer les coupes illégales. Mais la situation de tension sur la ressource, particulièrement sensible dans certains massifs propice à l'exploitation pour le bois énergie, doit être contrôlée de manière systématique à l'échelle régionale.

2.1.3 Télédétection des coupes rases dans le massif landais

Une méthode de télédétection des coupes rases a été mise au point dans le massif landais. Les coupes sont repérées par comparaison des valeurs normalisées des pixels pour la bande du moyen infrarouge entre deux images diachroniques[1]. Elle ne porte cependant que sur la futaie régulière pure de pins maritimes en plaine et permet d'estimer de manière fiable le volume prélevé en combinant les données d'inventaire avec les résultats de télédétection. Automatisation de la télédétection des coupes rases

2.1.4 Nécessité d'automatiser la méthode…

Comme souligné précédemment, le contrôle des défrichements en Rhône-Alpes ne peut être effectué par tournée sur le terrain ou par signalement. Les perspectives d'augmentation des prélèvements en Rhône-Alpes (voir paragraphe 1.1.3 p. 10) induisent un renforcement des contrôles des coupes par les DDT qui pourrait être appuyé par la télédétection si le procédé était intégré dans

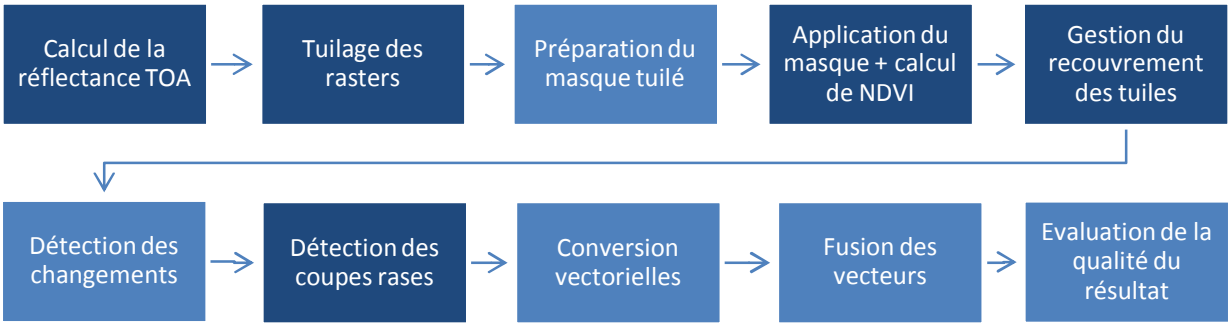
[1] Source : Suivi de la gestion durable du massif aquitain de pin maritime par télédétection spatiale – Guy Gallay, Gérôme Pignard, Nicolas Stach, Thierry Bélouard

les services de la DRAAF. La méthode proposée par l'IRSTEA à cet effet est facile à appliquer pour deux à trois images à traiter par an (si les postes mis à disposition sont suffisamment performants). La couverture d'images satellites de la région Rhône-Alpes est composée de 20 à 50 images en fonction des années et la capacité des ordinateurs mis à disposition à cet effet est restreinte. Compte-tenu de ces difficultés, l'application de la chaîne de traitement de l'Irstea devient laborieuse, voire impossible à mettre en œuvre. De fait, la fluidification et l'automatisation du traitement des images pour la télédétection des coupes sont fondamentales pour assurer un contrôle rigoureux et systématique des prélèvements en forêt. Évidemment, l'automatisation de la méthode a soulevé des questions. Il fallait en effet définir le porteur du projet ainsi que le cahier des charges.

2.2 Adaptation de la méthode

L'adaptation de la méthode a été réalisée à partir d'un cahier des charges inventoriant les contraintes principales. Le but de l'automatisation est de fluidifier le traitement d'image d'après la méthodologie de l'IRSTEA pour permettre une utilisation sur des ordinateurs de capacité standard. Les trois axes guidant cette modification de méthode sont : fluidifier l'information, limiter les interventions de l'opérateur, intégrer au mieux les attentes des DDT. D'autres contraintes existent mais relèvent plus d'aspect techniques : les logiciels utilisés doivent être libres. Qgis par exemple est

Figure 4: Adaptation de la méthode de télédétection



imposé pour le traitement d'image, de même pour la suite Libre Office.

L'automatisation de la télédétection des coupes rases est permise via un algorithme rédigé en Basic (Basic Office). Cet algorithme fait appel à des fonctions des librairies de Gdal et d'OrfeoToolbox de Qgis qui sont appelées par des fichiers exécutables (.bat) codant une ligne de commande. Un guide a été rédigé pour présenter l'algorithme et son utilisation. La couverture annuelle de la région Rhône-Alpes est composée de 20 à 50 images pour un poids d'environ 50 Go. La programmation de l'algorithme a occupé la majeure partie du stage. Les phases de test des fonctions notamment se sont révélées laborieuses.

2.2.1 Calcul de la réflectance Top of Atmosphere

Par précaution, la réflectance TOA a été calculée pour les images de 2011 et de 2012. Cette correction n'a pu être effectuée pour les autres images. Le traitement a avorté à cause de la taille des images

2.2.2 Tuilage des images pour fluidifier le traitement

La facilitation du traitement d'image est permise par la réduction de la taille des images à traiter. Chaque image de la couverture satellitaire de Rhône-Alpes est découpée en tuiles de 10 km x 10 km en projection Lambert 93 au format «.tif». Il s'agit de la première étape de la chaîne : le tuilage. Sur ce principe, le nom de chaque tuile correspond à ses coordonnées d'emprise, pour faciliter le référencement et l'adressage des opérations. De même, le masque forêt de Rhône-Alpes est tuilé ; ainsi, les tuiles sont appareillées par nom lors des calculs, pour en faciliter l'adressage. 520 tuiles de 10 km * 10 km sont nécessaires pour couvrir la région Rhône-Alpes.

2.2.3 Intégration du masque forêt lors du calcul de NDVI

Contrairement à la chronologie de la méthode IRSTEA, le masque (tuilé) est intégré lors du calcul de NDVI, ce qui limite le nombre de fichiers intermédiaires. En effet, le nombre de tuiles composant le masque forêt est inférieur à l'emprise des images constituant la couverture régionale qui outrepasse les frontières administratives (voir Figure 5 et Figure 6).

Figure 5: Couverture régionale de 2014 (SPOT6)avant tuilage (limites départementales en jaune, 21 rasters pour 55Go)

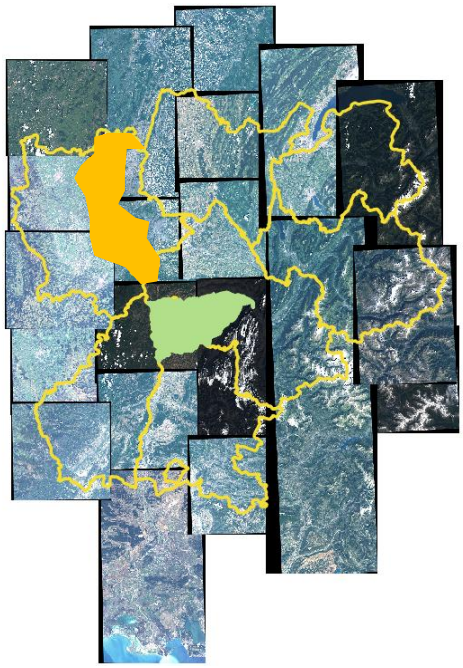
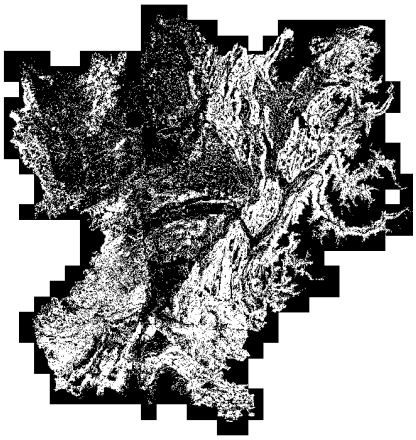


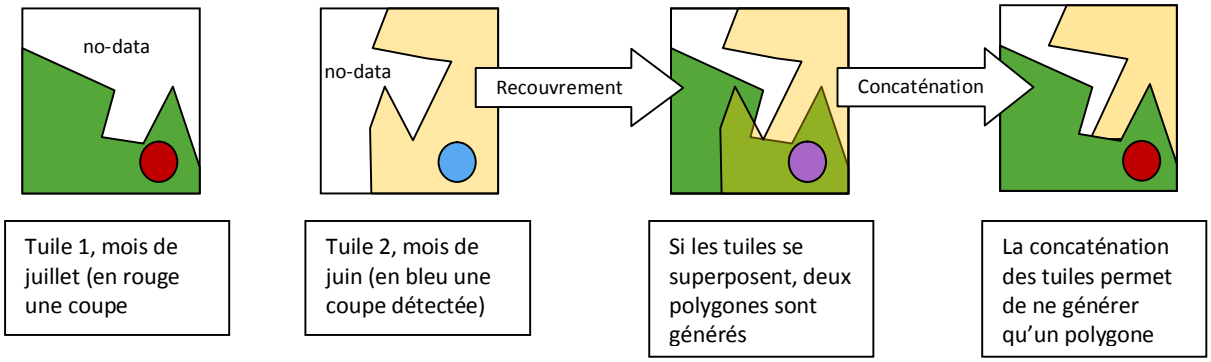
Figure 6: Couverture régionale tuilée en NDVI sur le masque forêt (520 tuiles en tout pour 10 Go)



2.2.4 Gestion du recouvrement des tuiles

Il est possible de remarquer sur la Figure 5 le recouvrement entre les images. La gestion du recouvrement entre les tuiles constitue une véritable problématique. Le but de la méthode est d'obtenir une couverture continue de la région. Les zones de recouvrement entre les différents rasters sont des zones délicates à traiter. En effet, si les tuiles sont laissées telles quelles, lors de la vectorisation, des polygones peuvent être redondants (voir Figure 7) ; par ailleurs, l'erreur de commission est susceptible de grimper en flèche si des images acquises au début du printemps sont utilisées. C'est pourquoi l'étape de calcul du NDVI est suivie d'une étape de concaténation des tuiles qui se recouvrent au niveau des pixels de « nodata ». Les tuiles prioritaires sont celles dont la date d'acquisition est la plus proche du mois de juillet[1] soit en été. Ce classement permet d'utiliser en priorité les tuiles dont la date d'acquisition assure à priori que le feuillage est suffisamment fourni pour produire un indice de végétation important possible. Dans l'exemple suivant, la tuile 1 est issue d'une image enregistrée en juillet, alors que la tuile 2 est issue d'une image enregistrée en juin. La tuile 1 sera donc prioritaire par rapport à la tuile 2 pour la fusion.

Figure 7: Gestion du recouvrement entre les tuiles



La concaténation consiste simplement à remplacer les pixels de no-data de la tuile prioritaire par les pixels complémentaires de la tuile suivante dans l'ordre de priorité dans l'exemple en Figure 7, la tuile 1 est complétée par la tuile 2. En réalité, le recouvrement permet d'obtenir une tuile finale sans no-data sur les zones forêt du masque. Le masque forêt de la région Rhône-Alpes est constitué d'environ 520 tuiles. En conséquence, pour chaque année la couverture régionale en indice de végétation sur le masque forêt représente le même nombre de tuiles. Mais la présence de recouvrement entre les images sources double voire triple le nombre de tuiles. C'est le cas pour la couverture d'images de 2014 par exemple (voir Figure 5).

2.2.5 Détection des coupes rases et appui des DDT

La détection des coupes rases doit être réalisée en collaboration avec les DDT. Dans la méthodologie proposée par l'IRSTEA, les seuils de détection des coupes rases sont établis statistiquement. Les DDT étant les utilisateurs finaux des résultats de télédétection des coupes rases, leur implication est nécessaire. C'est pourquoi les seuils sont déterminés en collaboration avec les DDT en fonction des surfaces limites nécessaires au constat d'infraction ou aux objectifs éventuels de caractérisation du prélèvement. Après obtention de la couverture régionale en différence de NDVI, les DDT sont consultées pour choisir des seuils de détection des coupes rases. Deux seuils sont établis. Le premier seuil est la valeur de NDVI à choisir pour détecter les coupes. Cette valeur est

[1] Lorsque les feuilles sont toutes formées et en activité

comprise entre $(\mu - \sigma)$ et le minimum des valeurs de différence NDVI. Plus cette valeur est négative et plus la coupe est certaine.

La seconde valeur de seuil est la surface minimale à considérer pour détecter une coupe et dépend du choix des DDT, elle est utilisée pour le filtrage des images.

3 Des résultats inféodés à la qualité de l'image en entrée

Pour le stage, deux massifs forestiers prioritaires avaient été définis : le Beaujolais et les Chambaran représentés respectivement en orange et en vert sur la Figure 5 en page 21.
Les résultats présentés dans cette section n'ont été calculé que pour la zone des Chambaran pour trois années entre 2010 et 2013. La zone des Chambaran est un massif feuillu de Châtaignier et de Chêne d'environ 40 000ha, très accessible compte tenu de l'altitude (200-700 m) et du relief peu marqué avec une desserte forestière bien développée. Cette zone est particulièrement concernée par l'augmentation des prélèvements de bois énergie. Elle fait partie à ce titre des zones prioritaires d'étude. Les images utilisées pour ce travail sont issues de trois satellites différents : Rapideye (2010, 2011 et 2012), SPOT 5 (2013) et SPOT 6 (2013 et 2014). La méthode appliquée pour le traitement de l'image est celle décrite en section 2.2 page 20.

3.1 Production des résultats et interprétation

Le résultat final attendu de la télédétection des coupes rases est un fichier vectoriel de polygones dans lequel chaque entité représente une coupe détectée.
En pratique, avant la livraison de la donnée aux agents des DDT, les résultats sont vérifiés par photo-interprétation avec les images satellites. En superposant le fichier de polygones à ces images, il est possible d'effectuer un contrôle rapide de qualité de la donnée. Un trop grand nombre de polygones peut être le signe d'une mauvaise qualité du résultat liée à un trop grand nombre d'interférences.

3.2 Des interférences nombreuses liées à la qualité des images livrées

3.2.1 La date d'acquisition des images influence le NDVI et fausse la détection

Les premiers résultats obtenus d'après la méthode présentée précédemment faisaient apparaître de nombreuses erreurs. Le premier problème rencontré lors du traitement était lié à la date de prise de vue. En effet, en fonction de cette date de prise de vue, le feuillage des arbres peut être plus ou moins épais et la valeur de l'indice de végétation en est impactée. La plage d'acquisition des images pour une couverture « d'été » s'étend (pour les images de 2014) du mois de février au mois de novembre. Les produits acquis trop précocement n'ont pas été intégrés au traitement. Des images précoces acquises au mois de mai, soit au début de la constitution du feuillage estival, présentent un indice de végétation faible sur les zones de forêt (voir Figure 8). Ainsi, pour la couverture d'une même année, la différence d'indice de végétation peut être flagrante d'une image à une autre. Les tuiles pour lesquelles est calculée la différence de NDVI héritent de l'hétérogénéité du NDVI. Les résultats ne permettent plus de repérer des coupes et ne traduisent qu'une distinction entre images (voir Figure 8). La figure 8 illustre les modalités de recomposition des images. L'image 2 et le bas de l'image 1 vont être concaténés pour former l'image 3. Le haut de l'image 1 n'est pas utilisé car la date d'acquisition de l'image 2 est le mois de juillet 2011 alors qu'il s'agit du mois de juin 2011 pour l'image1. L'image 3, la tuile recomposée est donc constituée du bas de l'image 2 et de l'image 1. A partir de cette image recomposée et de la couverture en NDVI de 2010 est générée la couche de résultat en fichier shapefile, l'image 4. Les zones orange correspondent à des polygones censés représenter des coupes.

Figure 8: Interférences liées à la date d'acquisition

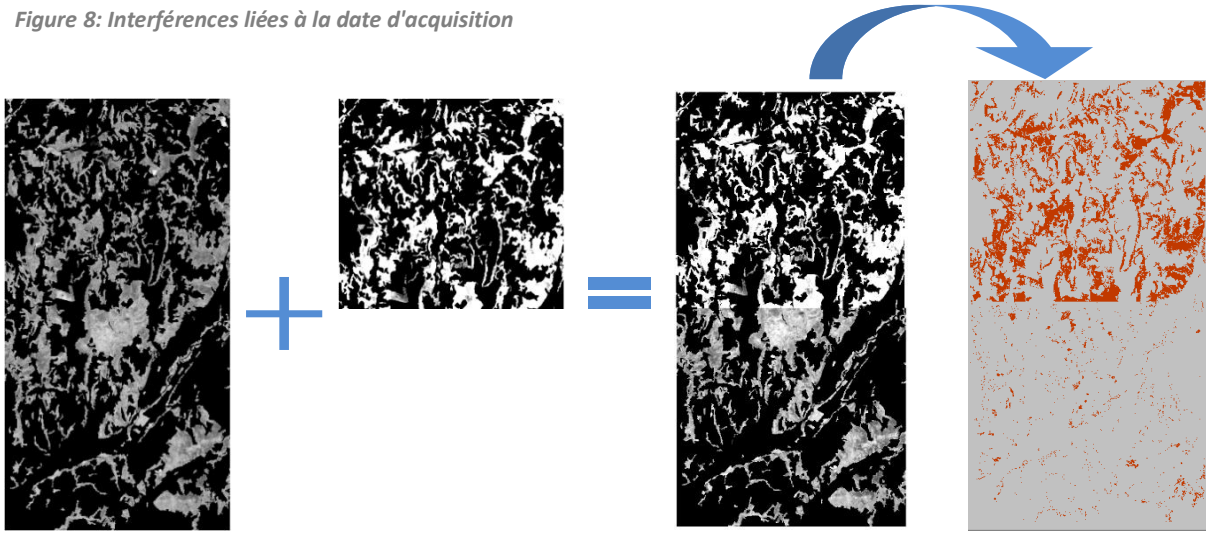


Image 1 acquise en juin 2011 (Rapideye-Chambaran), l'indice de végétation est de faible valeur (histogramme 1)

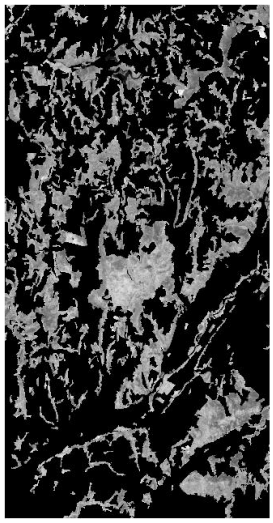
Image 2 acquise en juillet 2011(Rapideye-Chambaran, l'indice de végétation

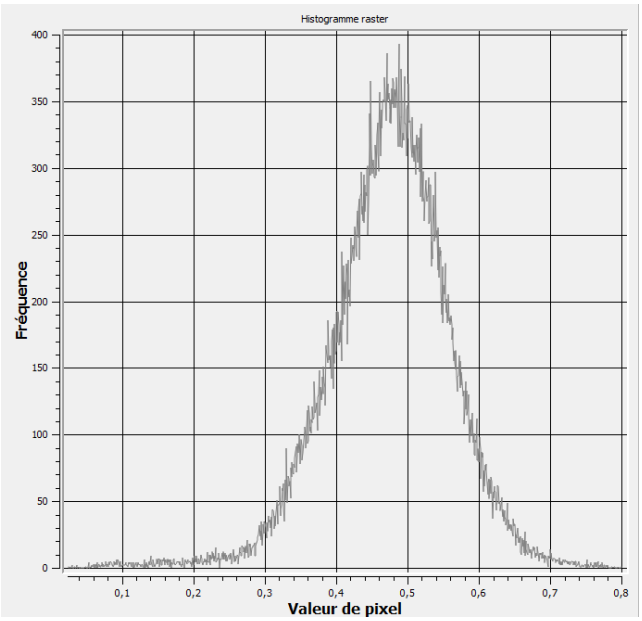
Image 3 recomposée (histogramme 3) pour la couverture 2011, la différence entre image source est visible

Image 4 : Couche de résultats, seule la différence entre images apparait

Il est intéressant de comparer les histogrammes des images 1 et 2 pour constater l'impact de la recomposition sur la tuile finale et les résultats. Les figures suivantes présentent les histogrammes 1, 2 et 3 respectivement associés aux images 1, 2 et 3 de la figure 8. Dans les histogrammes figurent la valeur de pixel (= NDVI) en abscisse et la fréquence d'apparition des valeurs (=nombre de pixels par valeur de NDVI) en ordonnée. L'histogramme de l'image 1 correspondant à une image datant du mois de juin, la moyenne des valeurs de NDVI est de 0,48 contre 0,67 pour l'image 2 qui date du mois de juillet.

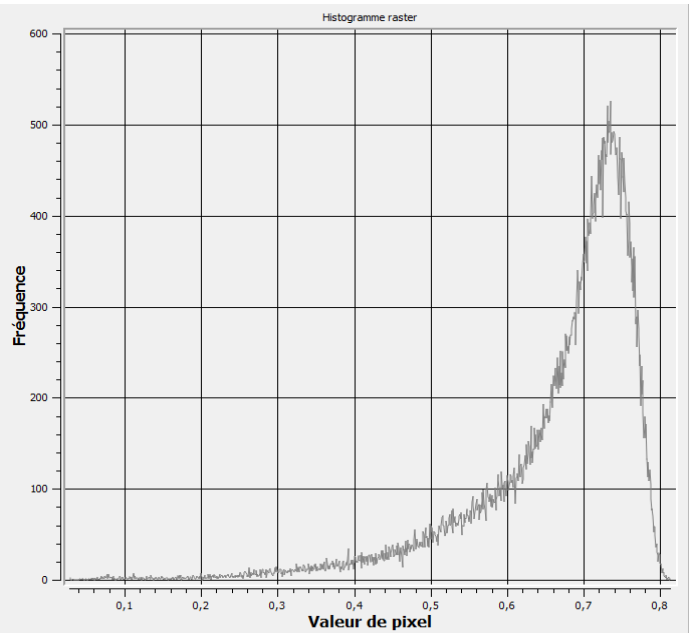
Figure 9: Image 1 (juin) et histogramme 1





Mode 1 :
Moyenne : 0,48
Écart-type : 0,08
Maximum : 0,79
Minimum: 0,03

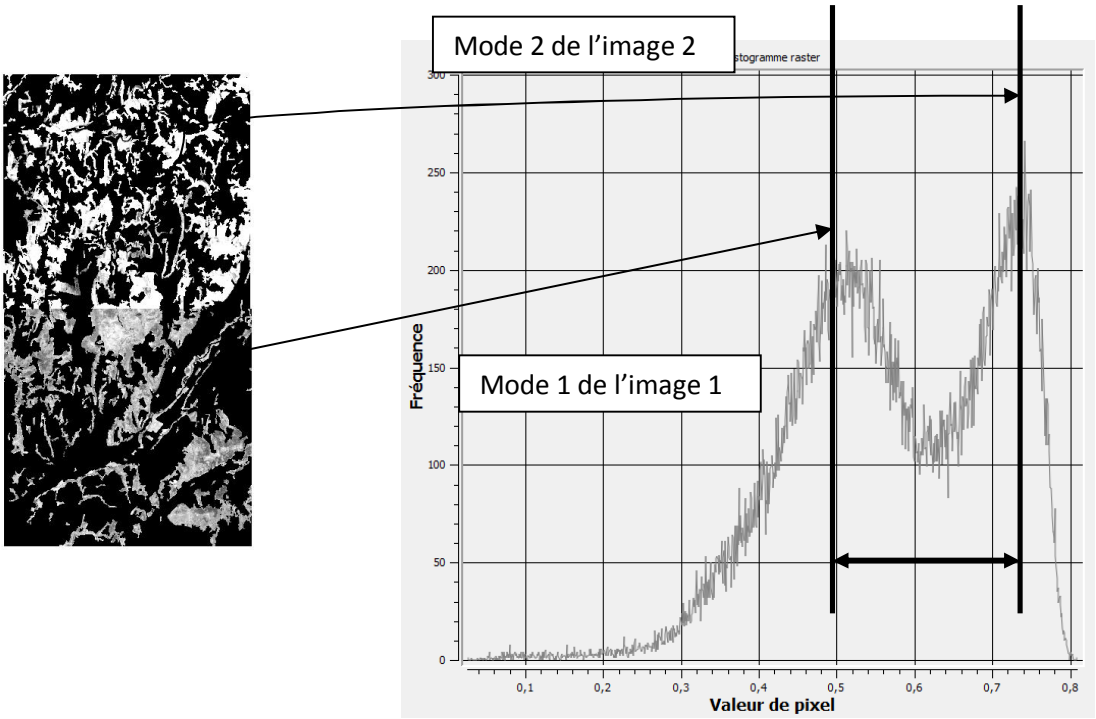
Figure 10: Image 2 (juillet) et histogramme 2



Mode 2 :
Moyenne : 0,67
Écart-type : 0,01
Maximum : 0,80
Minimum: 0,04

Les histogrammes de ces images montrent donc que la valeur du NDVI est fortement influencée par la date d'acquisition.

Figure 11: Image 3 recomposée et histogramme 3 bimodale



La Figure 11 fait bien apparaître les deux modes présents dans l'image recomposée qui sont liés aux images sources. Les images ne peuvent faire l'objet d'une recomposition, car la période d'acquisition influence trop la valeur de l'indice de végétation. D'une image à une autre, ces valeurs ne sont pas comparables, d'où les deux modes de l'image recomposée. Il est donc nécessaire de procéder à un traitement qui permet d'harmoniser les valeurs de NDVI des pixels, pour qu'elles soient comparables d'une image à une autre. L'hypothèse utilisée est que les valeurs de pixels présentent une répartition gaussienne de moyenne μ et d'écart-type σ (voir Figure 9 et Figure 10). Il est donc possible de définir pour chaque image une variable aléatoire X par exemple suivant une loi normale de moyenne μ et d'écart-type σ pour les valeurs de pixels. On associe à X la variable X* qui est définie par :

$$X^* = \frac{X-\mu}{\sigma}$$

X* suit une loi normale centrée-réduite, de moyenne 0 et d'écart-type 1.

Ainsi, en appliquant la formule ci-dessus à l'ensemble des pixels de chaque image, la couverture annuelle de la région est harmonisée.

L'exemple suivant reprend les images 1 et 2 de la Figure 8 auxquelles est appliqué l'utilisation d'une variable centrée-réduite. Pour ces deux images, la moyenne prend une valeur d'environ 0 et l'écart-type d'environ 1.

De manière plus générale, une attention toute particulière doit être portée sur la qualité des images en entrée du traitement. L'exemple précédent montre que la date d'acquisition est un paramètre crucial à l'application du traitement de télédétection des coupes rases. D'autres aspects de l'image sont à prendre en compte, notamment le pourcentage de l'image recouvert par les nuages ou les ombres dues au relief. Ces éléments présents sur les images sources sont autant d'interférences générées dans les résultats. Moins les images présentent d'ombre et de nuages, plus les résultats seront fiables.

Figure 13: Image 1 centrée-réduite et son histogramme

Mode 1 :
Moyenne : 0,17
Écart-type : 1,03
Maximum : 3,83
Minimum : -5,35

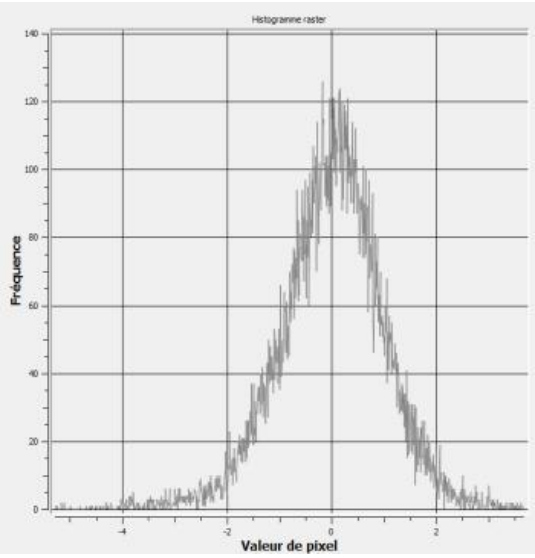


Figure 12: Image 2 centrée-réduite et son histogramme

Mode 2 :
Moyenne : 0,11
Écart-type : 0,97
Maximum : 1,42
Minimum : -5,65

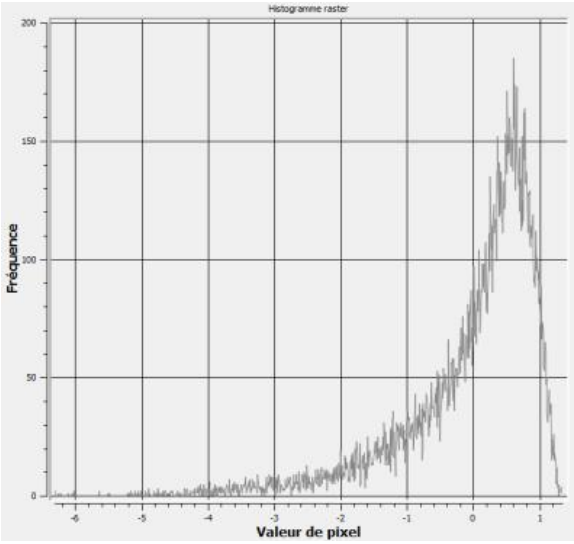
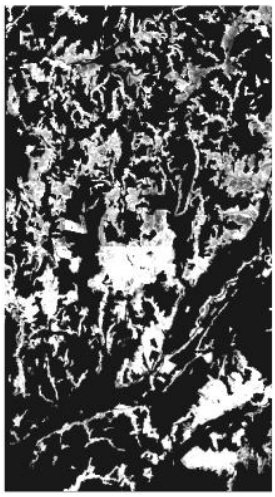
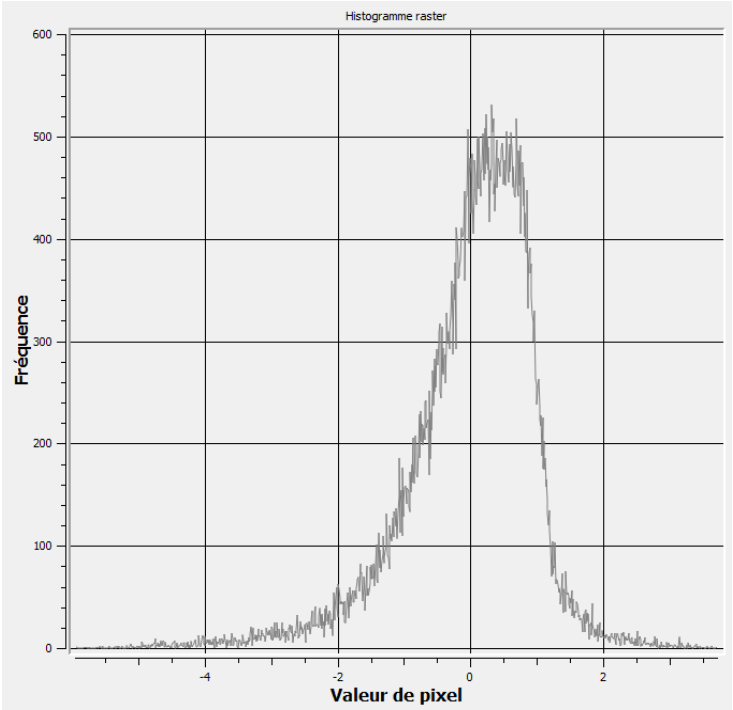


Figure 14: Image recomposée centrée-réduite





Mode résultant :
Moyenne : -0,01
Écart-type : 0,98
Maximum: 3,50
Minimum: -5,35

L'histogramme de l'image constituée des images à pixels centrés-réduits ne fait apparaître qu'un seul mode. Les résultats obtenus sont plus satisfaisants, puisque seules zones de forte variation de NDVI apparaissent.

Figure 15: Réduction des interférences après utilisation d'une variable centrée-réduite

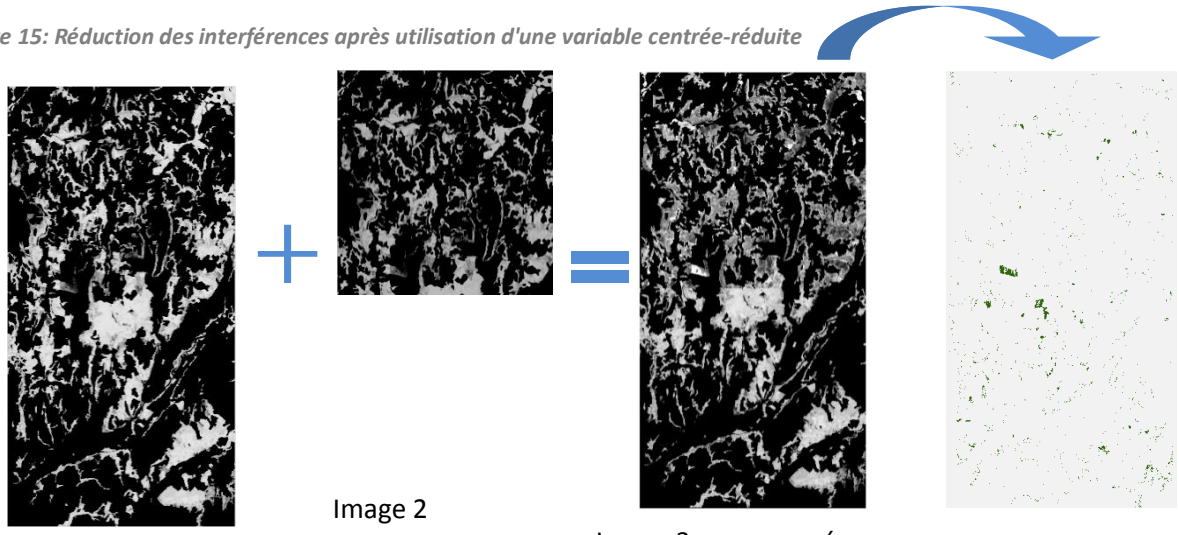


Image 1 acquise en juin 2011

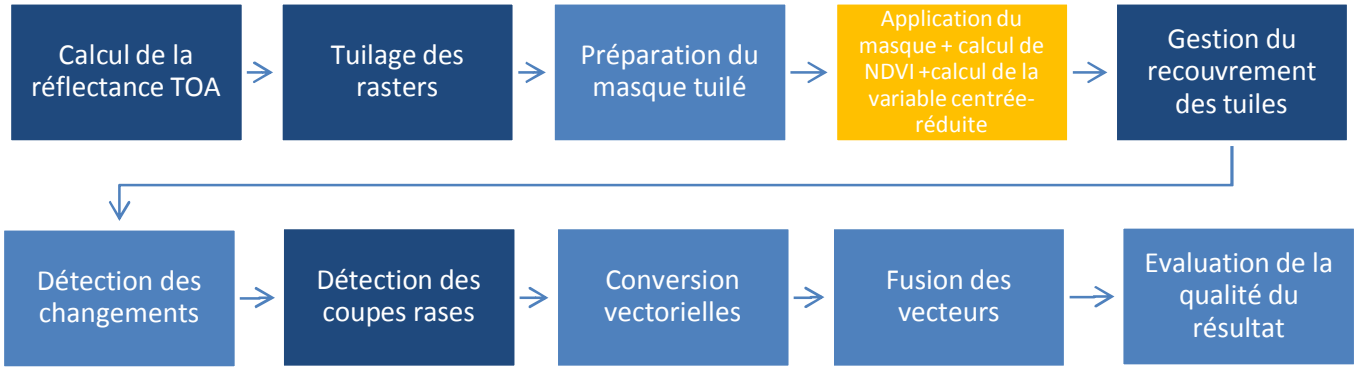
Image 2 acquise en juillet 2011

Image 3 recomposée pour la couverture 2011, la différence entre images sources est atténuée

Image 4 : Couche de résultat, seules les coupes apparaissent.

Par conséquent, la chaîne de traitement a été modifiée comme suit :

Figure 16: Modification de la chaîne de traitement



Sur l'image 4 de la figure 15, les zones plus foncées sont des polygones du fichier vectoriel. Certains de ces polygones correspondent à des coupes, d'autres ne sont que des interférences. La comparaison des résultats de plusieurs seuils de détection (voir 2.1.1.5 en page 16), permet de choisir la valeur qui limitera au mieux le nombre d'erreurs. C'est l'objet du paragraphe suivant.

3.2.2 Interférences liées aux nuages et aux ombres

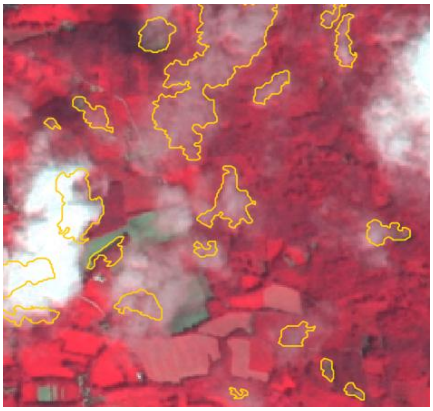
Si l'utilisation d'une variable centrée-réduite permet de limiter « l'effet image » lors de la détection, elle ne permet bien évidemment pas de gommer les imperfections telles que les nuages, leurs ombres et les ombres du relief. Aucune solution des solutions existant actuellement n'a pu être incorporée à la chaîne de traitement faute de temps, bien que plusieurs essais aient été menés. Pour les nuages, un masque indiquant leur emplacement devrait être fourni par Geosud à l'avenir. Les modalités de production de ce masque ne sont pas définies, mais le code de l'algorithme devra sûrement être adapté pour le prendre en compte lors du traitement.

La solution envisagée au départ pour limiter l'effet des ombres et des nuages était de tirer profit du recouvrement entre les images initiales pour procéder à une fusion pixels à pixels, à la manière de la *détection multi-temporelle* qui est effectuée par le centre de production *MUSCATE*. Le principe de détection des nuages repose sur le suivi de l'évolution du spectre codé par les pixels et de la valeur de réflectance dans le bleu. Lorsque le spectre codé est blanc et que la valeur de réflectance dans le bleu a augmenté[1] entre deux images, il est possible de révéler la présence d'un nuage mais le risque de confusion entre sol nu et nuage n'est pas négligeable. En compilant ainsi les valeurs de pixels pour plusieurs images, il devient possible d'éliminer une partie des nuages présents sur une image. Pour la télédétection des coupes rases, les satellites fournissant les images ne disposent pas tous de capteurs dans le spectre bleu. C'est pourquoi la méthode choisie pour « gommer » les nuages et les ombres est quelque peu différente.

[1] Source : La détection des nuages, comment ça marche ? , Olivier Hagolle, siteweb du CESBIO

Lors de la vérification des résultats, il est apparu que les ombres et les nuages étaient détectés comme des coupes, et que par conséquent la valeur du NDVI avait fortement diminué entre l'année n et l'année n+1.

Figure 17: Fausses détections liées aux nuages après utilisation d'une image SPOT5 de 2013 (Chambaran)



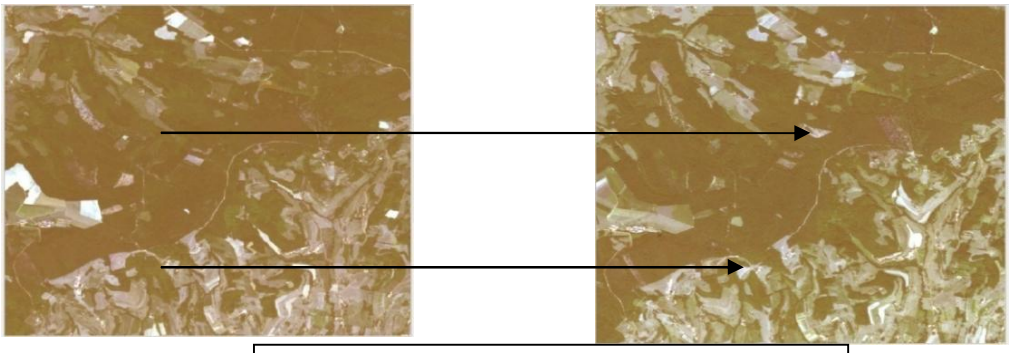
En considérant que l'emplacement des nuages est variable dans le temps, la comparaison des valeurs de NDVI pixel par pixel permet de remarquer leur présence. La modification apportée au traitement pour « gommer » la présence des nuages portait sur le changement de l'ordre de priorité des images. En premier lieu, les tuiles qui se recouvraient étaient fusionnée au niveau des valeurs « nodata » des pixels (voir 0 en page 22). L'image dont la date d'acquisition était la plus proche de début juillet était complétée par la tuile suivante du classement.
La variante pour limiter les effets ombres et nuages consistait à maximiser la valeur du NDVI pixel par pixel. Ainsi, les valeurs de NDVI les plus faibles signifiant la présence d'un nuage, d'une ombre et potentiellement un sol nu sont éliminées. Il en résulte une image recomposée en maximum de NDVI.

3.3 Résultats finaux

Comme souligné précédemment, les résultats présentés ne concernent que le massif des Chambaran pour trois périodes de 2010 à 2013. Les figures 18 et 19 montrent un extrait des images satellites pour la zone des Chambaran (images Rpaideye). Il est possible d'observer visuellement l'apparition des coupes d'une année sur l'autre.

Figure 18: Image satellite Rapideye de 2011

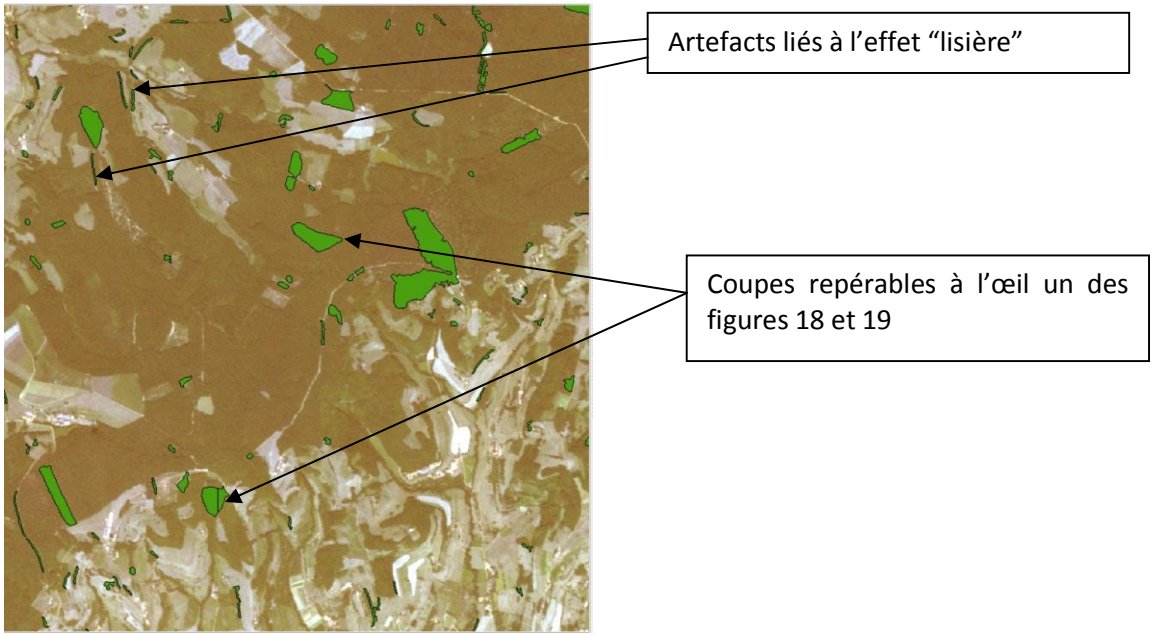
Figure 19: Image satellite Rapideye sur la même zone en 2012



Exemples de coupes détectables à l'œil nu

Seules les coupes de plus de 0,125 ha sont enregistrées par l'outil de télédétection. Trois seuils de détection ont été utilisés. Soient µ et σ respectivement les valeurs de la moyenne et de l'écart-type de chaque tuile. Dans les images suivantes, les polygones en vert correspondent à la détection des coupes de degré 1σ soit pour des valeurs de différence de NDVI comprises entre le minimum et $(\mu - \sigma)$. Les polygones jaunes correspondent à un degré de 2σ soit pour des valeurs de pixels compris entre le minimum et $(\mu - 2\sigma)$. Enfin la dernière couche de polygone en rouge correspond aux coupes de degré 3σ soit pour des valeurs de différence de NDVI comprises entre le minimum et $(\mu - 3\sigma)$. La détection des coupes rases via la chaîne de traitement automatique avec un seuil de détection de 1 σ fait apparaître les résultats suivants :

Figure 20: Détection avec degré 1σ (image satellite Rapideye – Chambaran)



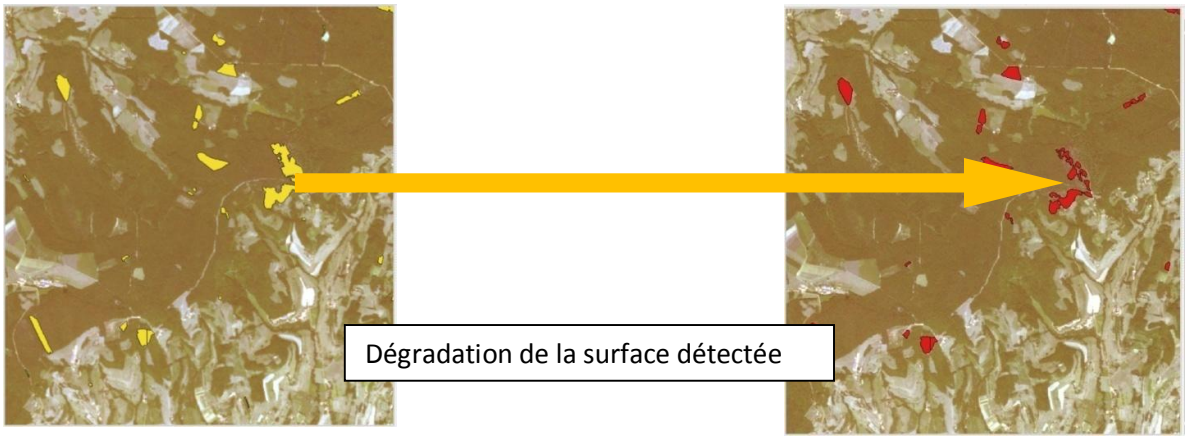
Cette image est obtenue avec un seuil de détection peu discriminant pour des valeurs inférieures à $(\mu - 1\sigma)$. L'effet « lisière[1]» est très visible pour ce seuil.

Sur la même zone, l'affichage des degrés de certitude moyenne et forte atténue le nombre d'artefacts liés à l'effet lisière, mais les surfaces détectées sont moins importantes :

[1] L'effet lisière est causé par les ombres présentes à la lisière des forêts qui différent en fonction du moment d'acquisition de l'image.

Figure 21: Détection avec degré 2σ entre 2011 et 2012

Figure 22: Détection avec degré 3σ entre 2011 et 2012



La validation des résultats est réalisée à l'aide de la matrice de confusion présentée en 2.1.1.7 en page 17. Ces tableaux ont été calculés en sélectionnant une centaine de polygones dans le fichier de degré 1σ. Les erreurs d'omissions calculées pour les degrés de 2 et 3 σ résultent de la comparaison entre ces couches et la couche de degré 1σ, pour les polygones dont la photo-interprétation permet de conclure qu'il s'agit effectivement de coupes. Le tableau suivant résume les résultats des matrices de confusion pour étudier l'évolution des erreurs en fonction du degré de détection. Le seuil de degré 1 σ présente une erreur de commission de 60% contre 48 % pour le degré 2 σ et 34% pour le degré 3 σ. Ainsi, 60% des objets détectés comme des coupes sont des erreurs de détection pour le degré 1 σ. À contrario, l'erreur d'omission augmente avec le degré de σ du seuil. De manière intuitive, lorsque le degré de certitude augmente, l'erreur de commission diminue. En contrepartie, l'erreur d'omission augmente. L'erreur d'omission du degré 2 σ est de 77 %. Elle atteint 35% pour le degré 3 σ. Dans la suite des tests de télédétection, seuls les degrés 2 et 3 σ seront utilisés.

Tableau 6: Récapitulatif des erreurs des différents degrés de certitudes pour la détection entre 2011 et 2012

Degré de certitude	Précision producteur	Erreur d'omission	Précision utilisateur	Erreur de commission	Erreur d'omission	Précision globale
1σ	85%	15%	40%	60%	15%	35%
2σ	77%	23%	52%	48%	23%	40%
3σ	65%	35%	66%	34%	35%	43%

Le tableau suivant présente l'évolution des surfaces détectées lorsque le degré de sigma augmente.

Tableau 7: Évolution de la surface détectée en coupe

	Coupes détectées en fonction du seuil de détection		
	Degré 1σ	**Degré 2σ**	**Degré 3σ**
Catégorie de surface	Nombre de coupes	Nombre de coupes	Nombre de coupes
Non détectées	7	11	17
Moins de 0,5 ha	15	21	21
De 0,5 à 1 ha	13	9	3
Plus de 1 ha	13	7	7
Total	48	48	48

Entre les seuils 2 et 3 σ le nombre d'objets mesurant entre 1 et 0,5 ha est réduit de deux tiers. Ainsi, parmi les neufs objets détectés dans la catégorie 1 à 0,5 ha par le seuil 2σ, trois sont détectées

comme tels par le seuil 3σ et six sont détectées dans la catégorie de moins de 0,5 ha. Les figures 21 et 22 illustrent le résultat de ce tableau. Pour une même coupe, le seuil le plus discriminant distinguera un objet de plus petite taille que le seuil le moins discriminant, d'où la diminution du nombre de coupes repérées de 0,5 à 1ha du seuil de degré 1 σ au seuil de degré 2 σ. Le choix du seuil de détection dépend donc de l'utilisation des résultats à effectuer par la suite. Dans le cadre de l'élaboration des plans de contrôle pour les DDT, il est préférable de choisir un seuil de certitude fort, qui dans l'exemple assure que 66% des coupes détectées existent dans la réalité, puisque c'est le seuil pour lequel les erreurs de commission et d'omission sont les plus équilibrées. Le tableau suivant présente l'évolution du nombre de coupes répertoriées par l'outil de télédétection durant les trois périodes de 2010 à 2013. La période 2013-2014 n'est pas étudiée à cause de la date d'acquisition des images de 2014. Le nombre de coupes détectées ainsi que la surface totale différent d'une année sur l'autre et diminue de moitié entre 2011 et 2013. Pour les trois périodes d'étude, les pourcentages par catégorie de coupes sont du même ordre de grandeur : 80% de coupes de moins de 0,5 ha, 10% de coupes de 1 à 0,5 ha et 7% pour les coupes de plus de 1 ha. La surface totale des coupes détectées est inhérente à la qualité des images. Si l'ordre de grandeur du nombre de coupes détectées entre 2010-2011 et 2011-2012 est similaire, la surface totale de ces coupes détectées diminue de 34% (49% de 2010 à 2013). Si les résultats de 2012-2013 semblent peu fiables pour estimer le prélèvement, ils permettent néanmoins de faciliter les plans de contrôles de légalité des coupes rases et défrichements.

Tableau 8: Evolution des résultats de télédétection par l'outil entre 2010 et 2013

Degré 3σ	Période de détection[1]		
Catégorie de surface	2010-2011	2011-2012	2012-2013
Moins de 0,5 ha	83%	84%	77%
De 1 à 0,5 ha	10%	10%	12%
Plus de 1 ha	6%	7%	11%
Surface totale des coupes[2] (ha)	730	481	373
Nombre total de coupes[2]	1813	1186	740
Précision utilisateur	94%	66%	83%
Précision producteur	74%	65%	*[3]
Précision globale	69%	43%	*[3]

3.4 Discussion des résultats

Les résultats sont concluants pour les périodes 2010-2011 et 2011-2012 et des réserves sont émises quant à l'utilisation des résultats pour la période 2012-2013, compte-tenu de la différence entre les ordres de grandeur des résultats entre les périodes. Les images de 2010 à 2012 présentent une couverture nuageuse nulle, ce qui n'est pas le cas pour les images de 2013 et 2014. Pour les résultats entre 2012 et 2013 il est possible que l'hétérogénéité des images de 2013 (couverture en SPOT 5 et SPOT6 avec nuages et dates d'acquisition précoces) biaise la télédétection. Il serait intéressant de comparer la qualité de la détection en fonction des satellites utilisés pour acquérir les images.
La solution qui avait été envisagée pour « gommer » la présence de nuage et des ombres, à savoir la maximisation du NDVI lors de la recomposition des images n'a pas été probante. En effet, les

[1] Les images utilisées pour calculer les résultats sont présentées en annexe 2
[2] Il s'agit des résultats obtenus sans correction des erreurs de commission ni d'omission.
[3] Non calculé à cause de la qualité des images de 2013

résultats obtenus avaient une fâcheuse tendance à repérer les massifs résineux en même temps que les coupes. Il est possible que l'espacement entre les dates d'acquisition des images soit à l'origine du problème. Cette variante de l'outil de télédétection n'a pas été retenue. Les nuages et les ombres de reliefs constituent une limite à l'utilisation de l'outil et le problème est d'autant plus handicapant que la région Rhône-Alpes est marquée par des reliefs importants. La sélection des images en entrée de l'outil de télédétection est donc indispensable pour mener à bien le procédé.
L'utilisation des résultats conditionne le choix des seuils de détection. Pour un plan de contrôle de la légalité des coupes et des défrichements, il sera judicieux de choisir le seuil qui limite les erreurs de commission sur des surfaces importantes ; par exemple, le seuil 3 σ pour une surface minimale de détection de 1 ha par exemple. Si le but est de caractériser le prélèvement, il faut équilibrer les erreurs sur des surfaces minimales de détection réduites.

3.5 Utilisation concrète des résultats

Le principe d'utilisation des résultats est simple. L'agent de la DDT en charge des plans de contrôle affiche les résultats de télédétection sur Qgis. Il sélectionne autant de polygones que nécessaire pour son plan de contrôle et vérifie pour chaque objet la légalité de la coupe et sa conformité par rapport au plan de coupe de la forêt associée. Dans le tableau 9, cette vérification a été effectuée pour deux plans d'aménagements de forêts communales : Murinais et Chasselay. La date prévue d'exploitation et la date de prévision du passage en coupe des parcelles qui figure sur l'état d'assiette du plan d'aménagement. La période autorisée correspond à la date prévue pour le passage en coupe modulée de la marge d'action autorisée (±4 ans). La période effective d'exploitation correspond à la période pour laquelle la coupe a été repérée à l'aide de l'outil de télédétection. Dans le tableau 9, toutes les coupes ont été réalisées dans les délais impartis à l'exception des parcelles 13, 14 et 15 de la forêt communale de Chasselay qui est sont en retard d'un an. L'ensemble de ces coupes est légal puisque inscrit à l'état d'assiette du plan d'aménagement. En théorie, un rappel à l'ordre devrait être effectué.

Tableau 9: Exemple d'utilisation des résultats de télédétection

Aménagement	Arrêté	Durée	Parcelles	Date prévue d'exploitation	Période autorisée	Période effective d'exploitation		Retard
Forêt communale de Murinais	114	1999-2013	7	2009	2005-2013	2011-2012		Non
			8	2010	2007-2013	2012-2013		Non
Forêt communale de Chasselay	497	2004-2016	13	2006	2002-2010	2011-2012		Oui
			14	2007	2003-2011	2011-2012	2012-2013	Oui
			15	2008	2004-2012	2011-2012	2012-2013	Oui
			16	2009	2005-2013	2011-2012		Non
			17	2010	2006-2013	2012-2013		Non

Le suivi des défrichements pourrait être rendu possible par comparaison des valeurs de l'indice de végétation entre l'année n et les années n+2 et n+3. L'utilisation de l'outil de télédétection est similaire à la construction des résultats classiques. Les agents des DDT étudieraient ensuite la couche

vectorielle obtenue avec celle issue de la comparaison des images des années n+2 et n+3 pour visualiser l'artificialisation des sols par défrichement.

3.6 Avis des agents des DDT

L'avis des agents des DDT au regard de la méthode est pour le moins divergeant. En effet, dans certains départements comme l'Ardèche, les agents de la DDT rattachés au service forêts sont nombreux, avec plus de cinq équivalents temps plein contre deux à trois dans les autres départements. La connaissance du terrain est d'ailleurs d'autant plus grande que les agents sont anciens. L'outil de télédétection n'est donc pas aussi justifié que dans des départements comme le Rhône pour lequel l'effectif rattaché au service forêt est plus réduit. Le temps passé à effectuer des opérations de contrôle doit donc être rentabilisé. Passé cet aspect, l'outil de télédétection des coupes rases permet de suivre systématiquement les obligations des reboisements des parcelles concernées notamment en archivant les couches vectorielles de coupes et en les comparant d'une année à l'autre. Chaque année, la couche de télédétection des coupes rases est livrée avec la matrice de confusion, les images satellites qui lui sont associées ainsi que l'explication des modalités d'utilisation. Les agents des DDT peuvent ainsi déjà se confronter à la qualité des résultats. Leur rôle est de comparer la couche de télédétection des coupes avec la saisie des plans simples de gestion et des plans d'aménagement. Ils peuvent ainsi vérifier la bonne exécution des plans de coupes, le reboisement des parcelles ainsi que la légalité des défrichements pour assurer la gestion durable des massifs. Leurs plans de contrôle peuvent ainsi établir des plans de contrôle systématiques à partir des coupes détectées. La DRAAF de son côté dispose d'informations précieuses pour estimer le prélèvement surfacique de la ressource. L'élaboration des modalités d'utilisation des résultats a été réalisée conjointement avec les DDT, afin de les intégrer pleinement à la conception de l'outil. L'utilisation de ces résultats n'en est que plus facile, puisque les grands principes ont été déjà assimilés.

4 Déploiement de la nouvelle méthode

La transmission de l'outil de télédétection des coupes rases est en cours de réflexion compte-tenu de la fusion des régions en cours. Le déploiement de l'outil sur la région Auvergne-Rhône-Alpes sera le fruit d'une collaboration entre les services forêts des régions actuelles. La méthode de télédétection des coupes rases a été bien intégrée en Auvergne. Elle ne se limite plus à la visualisation des coupes et est utilisée pour estimer les surfaces consumées par les feux de forêts. Les images utilisées à cet effet proviennent des campagnes d'acquisition du satellite Landsat-8 et peuvent couvrir jusqu'à trois départements. Leur résolution est de 30m *x* 30m, soit des pixels de 900m². Pour estimer au mieux les prélèvements, la méthode déployée au SERFOBE utilise une surface minimale de 0,125 ha. La résolution des images de Landsat 8 semble un peu grossière pour générer un résultat fin de télédétection des coupes rases. Elle permet néanmoins de traiter de grandes surfaces rapidement, ce qui n'est pas négligeable au vu du temps de traitement nécessaire à la méthode automatique.

Conclusion

La télédétection des coupes rases via l'outil de télédétection permet d'arriver à des résultats satisfaisants pour optimiser les plans de contrôle des DDT et le suivi de la gestion durable des forêts. Elle permet de cibler des coupes avérées et de les comparer aux documents de gestion des forêts. Il convient néanmoins de choisir des paramètres adaptés au résultat souhaité : détection des coupes ou estimation du prélèvement. De même une grande attention doit être apportée lors de la sélection des images en entrée du traitement pour limiter le nombre d'erreurs dans les résultats liées aux dates d'acquisition ou à la présence de nuages et d'ombres ou à l'inversion des bandes.

La livraison des résultats n'a pu être effective faute de temps. Néanmoins les modalités d'utilisation des couches de résultats sont prévues car l'accompagnement des DDT est une condition nécessaire au bon déploiement de l'outil. Les méthodes de travail ne sont pas homogènes d'un département à l'autre et compte tenu de la complexité du procédé, plusieurs formations peuvent être nécessaires pour que le principe d'utilisation des résultats soit acquis par les agents.

La validation de ces résultats par rapport à d'autres travaux est délicate car l'utilisation de la méthodologie de cartographie et détection des coupes rases proposée par l'Irstea n'est utilisée que très ponctuellement et n'a pas été suffisamment déployée pour permettre un retour des utilisateurs.

Néanmoins compte tenu de la qualité du fichier vectoriel de coupe obtenu par traitement automatique lorsque la qualité des images le permet, il est envisageable de travailler à une échelle régionale et pourquoi pas nationale, ce qui correspondrait au souhait du CNES « d'industrialiser » un tel outil. D'autres applications d'ailleurs pourraient être envisagées lors de l'utilisation de l'outil tel que le suivi des feux de forêt, des défrichements, la détection des résineux ou l'expansion des ravageurs.

Bibliographie

Agreste Rhône-Alpes Service de l'information et de la prospective. 2015. *Enquête exploitations forestières et scieries 2013.* Lyon : Agreste Rhône-Alpes, 2015.

Anne JOLLY, DOminique GUYON, J. RIOM. 1993. Système d'information gégraphique, télédétection et politique forestière régionale. *Revue Forestière Française.* 1993, 98.

Conseil national de l'industrie. 2014. Source : Le contrat de filière CSF Bois . 2014.

CRPF Rhône-Alpes. 2005. *Schéma Régional de Gestion Sylvicole des forêts privées.* 2005.

CRPF-Rhône-Alpes. Le contexte forestier régional - Quelques statistiques régionales. *Forêt privée française.* [En ligne] [Citation : 19 Août 2015.] www.foretprivefrançaise.com/la-foret-rhone-alpes-156850.html.

DRAAF Rhône-Alpes. 2013. *Bilan FEADER 2007-2013.* Lyon : s.n., 2013.

DRONES IMAGING. 2013. Documentation technique. *DRONE IMAGING, analyse et traitement des images aériennes.* [En ligne] 2013. [Citation : 21 Avril 2015.] http://www.dronesimaging.com/solutions/documentation/.

Fédération nationale du bois. Appel à projet ADEME -Mobilisation du bois 2015 – 30 millions d'euros, Message de Nicolas Douzain-Didier. *FNB le site des exploitants forestiers, scieurs et industriels du bois.* [En ligne] [Citation : 01 Août 2015.] http://www.fnbois.com/fr/system/files/actualites/150304dynamic_bois_appel_a_projets_ademe.pdf.

Guy Gallay, Gérôme Pignard, Nicolas Stach, Thierry Bélouard. 2003. Suivi de la gestion durable du massif aquitain de pin maritime par télédétection spatiale. *Food and Agriculture Organization of the United Nations.* [En ligne] 2003. [Citation : 10 Juillet 2015.] http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0628-B1.HTM. 0628-B1.

Hagolle, Olivier. La détection des nuages, comment ça marche ? *Séries Temporelles.* [En ligne] CESBIO. [Citation : 30 Juin 2015.] www.cesbio.ups-tlse.fr/multitemp/?p=805.

Institut National de l'Information Géographique et Forestière. 2015. *Le mémento inventaire forestier édition 2014.* [Plaquette] Saint-Mandé : IGN-IFN, 2015. @IGN\MEMOFORET\DECEMBRE2014\Réf.83.

Jonas LAMBERT, .et all. 2015. Detecting Clear-Cuts and Decreases in Forest Vitality Using MODIS NDVI Time Series. *Remote sensing.* 2015, 07-03588. www.mdpi.com/journal/remotesensing.

Ministère de l'agriculture. 2015. Communiqué. *alim'agri site du ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.* [En ligne] 17 Mars 2015. [Citation : 25 07 2015.] http://agriculture.gouv.fr/segolene-royal-et-stephane-le-foll-lancent-dynamic-bois-un-appel-manifestations-dinteret-en-faveur.

Office National des Forêts. 2006. *Schéma Régional d'aménagement Rhône-Alpes.* 2006.

Open Office. 2009. Apache Open Office wiki. *Apache Open Office wiki.* [En ligne] 23 Mai 2009. [Citation : 15 Avril 2015.] https://wiki.openoffice.org/wiki/FR/Documentation/BASIC_Guide/Language.

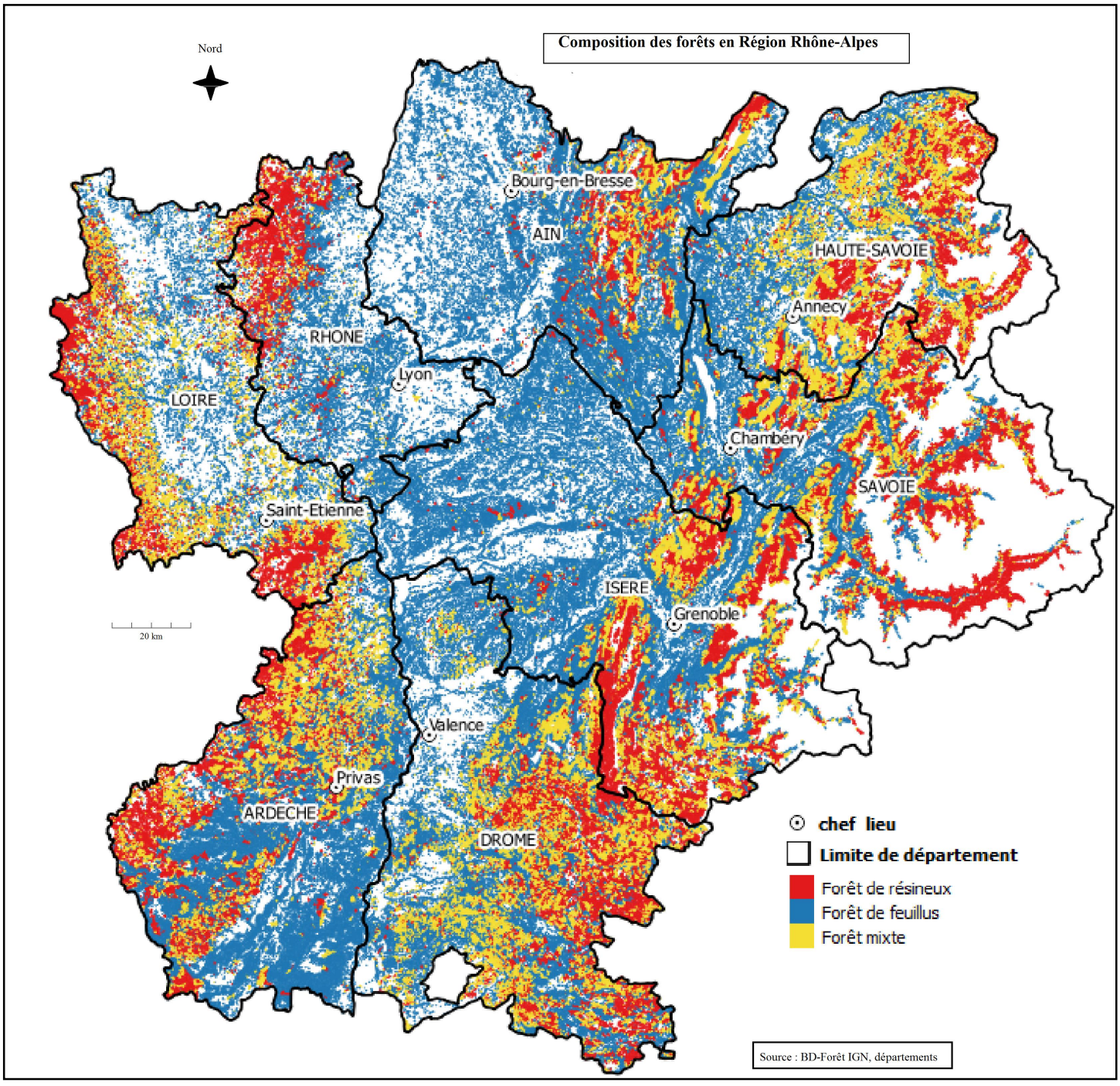
Télédétection des coupes rases dans les Chambarans. **SERFOBE Rhône-Alpes, DDT de la Drôme. 2010.** 2010. Non libre d'accès.

UMR TETIS, IRSTEA. 2015. DÉTECTION ET CARTOGRAPHIE DES COUPES RASES PAR TÉLÉDECTION SATELLITAIRE, Guide méthodologique. Montpellier : s.n., Janvier 2015.

University of Maryland. Global Forest Change 2000–2014 Data Download. *Global Forest Change 2000–2014.* [En ligne] [Citation : 13 Juillet 2015.] http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download_v1.2.html.

Annexes

Annexe 1: Carte de composition des forêts de Rhône-Alpes

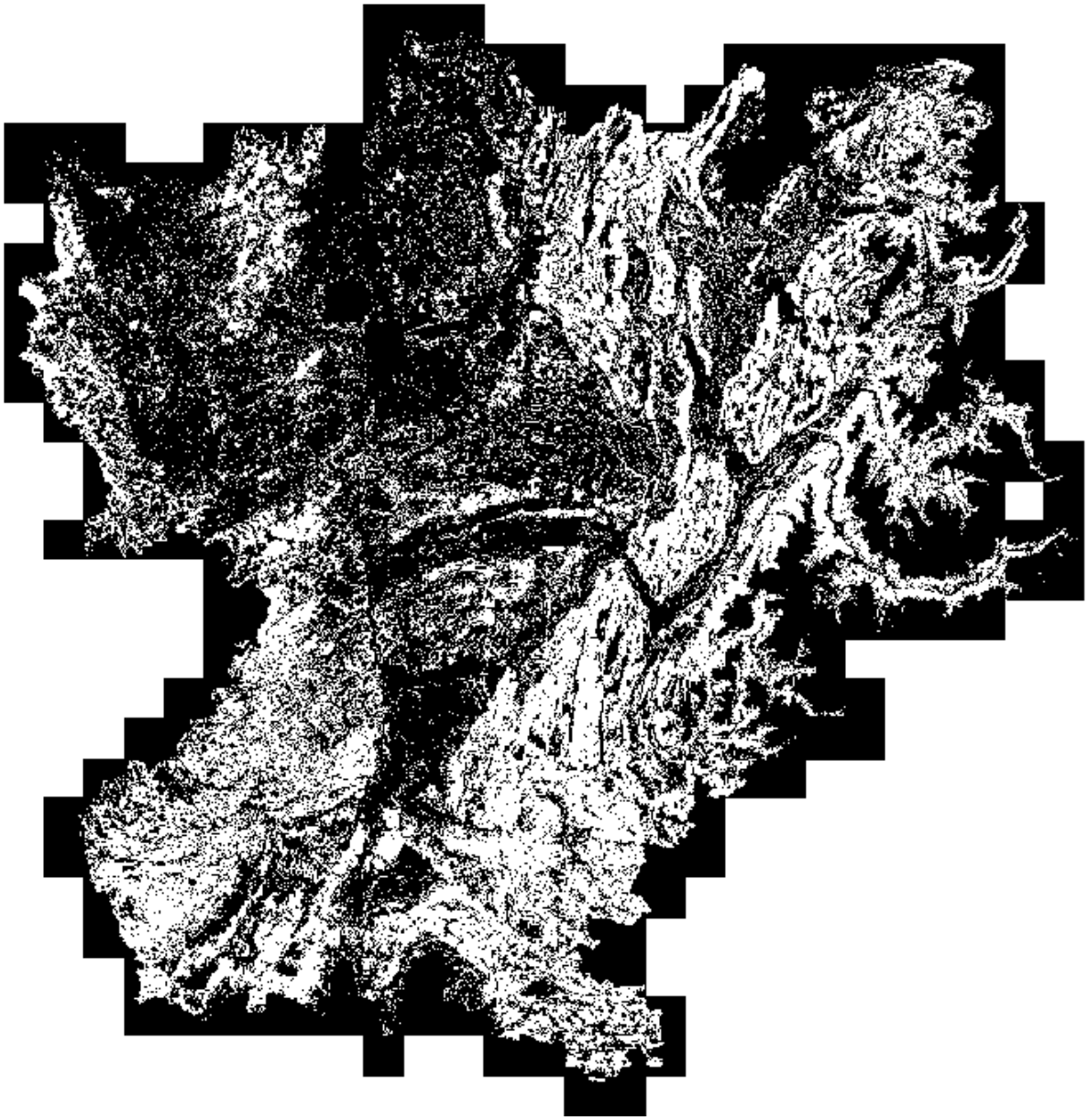


Annexe 2: Matériel d'imagerie satellitaire

Date	Nature	Résolution	Bandes	Capteur
2014	Couverture été multispectrale	6.5m	Rouge, bleu, vert, proche infra-rouge	SPOT 6-7
2013	Couverture été multispectrale	6.5m	Rouge, bleu, vert, proche infra-rouge	SPOT 6-7
2013	Couverture été multipsectrale	10m	Vert, rouge, moyen-inrarouge, proche-infrarouge	SPOT 5
2013	Couverture été panchromatique	5m	1	SPOT 5 SPOT 6
2012	Couverture été multispectrale	5m	Bleu, vert, rouge, rededge, proche infra-rouge	Rapideye
2011	Couverture été multispectrale	5m	Bleu, vert, rouge, rededge, proche infra-rouge	Rapideye
2010	Couverture été multispectrale	5m	Bleu, vert, rouge, rededge, proche infra-rouge	Rapideye

Guide d'utilisation de l'outil de télédétection des coupes rases

-Guide d'utilisation- version 1.0



Sommaire

1 Contexte 41
1.1 Spécifications techniques.....41
1.2 Substrat de la chaîne de traitement 42
1.3 Principe d'utilisation 43
2 Introduction au fonctionnement de Libre Office Basic 44
2.1 Structure du script 44
2.2 Structure des macros 45
2.3 Structure des feuilles 47
3 Architecture de l'algorithme.....47
4 Fonctionnement pas-à-pas 47
4.1 Première étape : renseignement des images à traiter 50
Renseignement des adresses des dossiers dans la feuille « mtd » 50
Initialisation de l'éditeur Basic Office.....51
Vérification des images en entrée 53
Identification des fichiers à traiter : macro « liste_fichier » 53
4.2 Deuxième étape: tuilage des rasters avec la macro « tuile ».....56
4.3 Troisième étape : calcul du NDVI.....60
Calcul de l'indice de végétation : macro « NDVI» 60
4.4 Quatrième étape : identification des recouvrements entre tuiles et composition des images 61
Enregistrement des recouvrements.....61
Recomposition des tuiles.....63
4.5 Cinquième étape : calcul de la différence de NDVI 64
4.6 Sixième étape : la détection des coupes.....65
4.7 Validation des résultats.....66
4.8 Construction du masque forêt tuilé.....68
Conversion vecteur à raster.....68

L'assistant de télédétection des coupes rases a été conçu pour répondre au besoin d'automatisation d'une méthode de détection et cartographie des coupes rases par télédétection satellitaire proposée par l'Irstea en janvier 2015 (version 5.0 du guide méthodologique).
Il a vocation à être utilisé dans les DRAAF à destination des DDT sans nécessiter d'ordinateur à haute performance. Il a été réalisé dans le cadre d'un stage de fin d'étude du cycle d'ingénieur ENSTIB-AgroParisTech à la DRAAF Rhône-Alpes. Le fonctionnement de l'assistant n'est garanti que pour les versions des logiciels et dans les conditions décrites ci-après.

1 Contexte

C'est dans un contexte d'augmentation des prélèvements de bois qu'est née la nécessité de procéder à une surveillance plus systématique des défrichements.
La surveillance des massifs forestiers est effectuée par les DDT en collaboration avec les DRAAF.
Le contrôle systématique des massifs d'intérêt est proposé par détection et cartographie des coupes rases par télédétection. Il est en effet possible maintenant de travailler à l'échelle régionale, notamment grâce à la mise à disposition d'images satellites couvrant la région par le programme de mutualisation de l'imagerie satellitaire porté par l'Equipex Geosud, le pôle Theia, l'Agence spatiale européenne(ESA) et le programme GMES (Global Monitoring for Environment and Security).
L'élaboration d'une méthode de cartographie a été réalisée par l'IRSTEA. L'intégralité du fonctionnement de l'assistant de détection est donc basée sur cette méthode.

1.1 Spécifications techniques

Les logiciels utilisés pour la conception de l'assistant sont intégralement libres d'accès à l'exception de Microsoft Office. Ces composants de l'assistant de télédétection sont tous installés par défaut sur les postes du MAAF, à l'exception de Monteverdi, module du CNRS à installer en complément de la suite Qgis-Gdal (version expert intégrée à OSGeo4w).

Tableau 10: Composants de l'outil de télédétection

Logiciels utilisés	Version	Fonction
Libre Office Basic	4.4.3.2	Support de l'algorithme
Invite de commande (Microsoft Office)	6.1.7601	Appel des fonctions de traitement
Qgis	2.8.2 Wien	Visualisation des images
Gdal	1.11.2	Traitement des images
Orfeo Toolbox (Monteverdi)	1.22	Traitement des images

La configuration minimale requise pour un bon fonctionnement de l'algorithme diffère quelque peu de celle spécifiée par l'Irstea dans son guide méthodologique :

Tableau 11: Support informatique

Application	Système d'exploitation	Mémoire vive	Stockage
Traitement Irstea	Windows 7 (32bits)	8 Gb	1 à 2 To
Traitement automatique	Windows 7 (64bits)	2 Gb	1 à 2 To

Dans les deux cas, il est indispensable de disposer d'un disque dur externe ou tout autre emplacement capable de stocker la donnée.
En dehors de ces dispositions, le bon fonctionnement de l'algorithme n'est pas garanti. En effet, en fonction des versions des différents logiciels, certaines fonctionnalités peuvent changer. Néanmoins,

il est envisageable de modifier le script pour l'adapter aux mises à jour des différents logiciels. Les modalités de modification sont précisées dans le guide de modification du script.

1.2 Substrat de la chaîne de traitement

L'assistant de télédétection a été conçu dans le but de traiter des images satellites. En fonction des années, les images peuvent être issues de différents satellites (voir Tableau 12). Chaque satellite présente des caractéristiques différentes. Il est donc fondamental d'étudier leur fiches techniques ainsi que la présentation des métadonnées des images avant toute opération. La résolution et la référence des bandes notamment varient (voir Tableau 4).

Tableau 12: Couvertures satellitaires mises à disposition par les programmes GMES et Geosud[31]

Date	Nom	Programme	Capteur
2014	Couverture 2014	Theia/Geosud	SPOT 6 SPOT 7
2013	Couverture 2013 en réflectance de surface	Theia	Landsat 8
2013	Couverture 2013	Theia/Geosud	SPOT 5 SPOT 6
2011-2012	Optical HR PanEU coverages 2011/2012 DWH_MG2_CORE_01	GMES/Geosud	IRS-P6 Resourcesat – 1 SPOT 4, SPOT 5 Rapideye
2011	Couverture hiver/été 2010	GMES/Geosud	Rapideye
2010	Couverture 2010	Geosud	Rapideye
2009 (± 1 an)	European wall-to-wall coverage 2009 DAP_MG2_08	GMES	ALOS, IRS-P6 Resourcesat-1 SPOT 4, SPOT 5
2006 (± 1 an)	European coverage of IMAGE2006 DAP_MG2_08	GMES	IRS-P6 Resourcesat-1 SPOT 4, SPOT 5
2005	Couverture été 2005	Geosud	SPOT 5

[31]Source : DÉTECTION ET CARTOGRAPHIE DES COUPES RASES PAR TÉLÉDECTION SATELLITAIRE - Guide méthodologique – UMR TETIS IRSTEA

Tableau 13: Caractéristiques des capteurs utilisés[1]

Capteur	Résolution spatiale (m)	Résolution spectrale	Résolution radiométrique
IRS-P6 Resourcesat-1	*Panchromatique 5.8* *Multispectral 23.5*	Vert Rouge Proche infrarouge Moyen infrarouge	7 bits
Rapideye	*Multispectral 5*	Bleu Vert Rouge Rededge Proche infrarouge	16 bits
SPOT4	*Panchromatique 10* *Multispectral 20*	Vert Rouge Proche infrarouge Moyen infrarouge	8 bits
SPOT5	*Panchromatique 5* *Multispectral 10*	Vert : bande1 Rouge : bande 2 Proche infrarouge : bande 3 Moyen infrarouge : bande4	8 bits
SPO6/7	*Panchromatique 1.5* *Multispectral 6*	Rouge : bande 1 Vert : bande 2 Blue : bande 3 Proche infrarouge : bande 4	16 bits
Landsat 8	*Panchromatique 15* *Multispectral 30*	Aérosols Bleu Vert Rouge Proche infrarouge Moyen infrarouge 1 Moyen infrarouge 2 Cirrus	16 bits

1.3 Principe d'utilisation

L'assistant de télédétection des coupes rases est la main d'œuvre nécessaire à la reproduction de tâches répétitives. Un opérateur est en charge d'activer les modules de l'algorithme, selon une chronologie définie et de vérifier systématiquement les résultats intermédiaires. Le script est stocké dans l'éditeur LibreOffice Basic. Il fonctionne en parallèle avec un classeur OfficeCalc dans lequel sont stockées les données et paramètres nécessaires à son fonctionnement. De manière générale, la communication avec le script est assurée par des boîtes de dialogue. Il est cependant possible à l'utilisateur de modifier le fonctionnement ou les paramètres du script directement dans l'éditeur de LibreOffice Basic. Les modalités de modification du script seront abordées dans le guide de modification du script.

2 Introduction au fonctionnement de Libre Office Basic

2.1 Structure du script

L'algorithme de l'assistant est associé à un classeur LibreOffice Calc. Le script est compartimenté en fonction des grandes étapes du traitement. Chaque compartiment est composé d'un module en relation avec une ou plusieurs feuilles de calcul. Le module est un bloc du script constitué d'un ensemble de fonctions qui sont appelées « macro ». Chaque macro code pour une ou plusieurs actions du traitement. Les modules présentent une structure similaire. Les premières macros inscrites servent à initialiser les paramètres nécessaires au fonctionnement du script : le nom des feuilles du tableur, le nom des paramètres, l'adresse des cellules dans lesquelles sont stockées les variables nécessaires au fonctionnement des fonctions. Dans le corps du script, elles sont signalées par le titre « Macros d'initialisation ».

Figure 23: Balise d'initialisation des modules

```
REM  *****  BASIC  *****
'L'option "explicit" permet d'éviter les fautes de frappe dans le nom des variables.
'Lors de l'éxécution du script, si une variable non déclarée est appelée, un message d'erreur est affiché
Option explicit
                '*****************************************************************************'
                '*****************************************************************************'
                    '==================================================================='
                    '                        Macros d'initialisation
                    '==================================================================='
                '*****************************************************************************'
                '*****************************************************************************'
```

Le reste des macros est placé sous le titre : « Macros du module ».

Figure 24: Balise d'initialisation des macros

```
cel_tocvrt.String = ""
End function
                '*****************************************************************************'
                '*****************************************************************************'
                            '=========================================================='
                                    'Macros du module info_raster
                            '=========================================================='
                '*****************************************************************************'
                '*****************************************************************************'
```

Le fonctionnement d'une macro est inhérent au module. Pour appeler une macro d'un module différent de celui dans lequel elle est décrite, il est nécessaire de charger ce module. Pour simplifier le fonctionnement et la compréhension du script, chaque module est indépendant des autres. Le script est donc composé de cinq modules indépendants associés à des feuilles du classeur.

Ils sont présentés dans leur ordre d'utilisation dans le tableau suivant :

Tableau 14: Rôles des modules

Module	Fonctions	Feuille(s) associée(s)
info_raster	Description des rasters à traiter	mtd, EPSG
tuilage	Tuilage des rasters à traiter	mtd
calcul_des_changements	Calcul du ndvi et de la différence de ndvi sur les tuiles	mtd
recouvrement	Gestion du recouvrement entre les tuiles	mtd, gestion_recouvrement,date_acquisition
detection_des_coupes	Discrétisation de la différence de ndvi et conversion vectorielle	changement

2.2 Structure des macros

A l'image des modules, les macros sont composées d'une phase d'initialisation et d'une phase de fonctionnement. La délimitation des macros est marquée par une ligne d'étoiles. Le premier élément à apparaître est le nom de la macro, suivi d'une définition en commentaire. Les macros peuvent être des fonctions ou des scripts. La différence entre ces deux entités et relative à la mémorisation des paramètres. Les variables déclarées dans une fonction lui sont internes, n'existent que le temps de son exécution et son réinitialisées à chaque appel de la procédure. A l'inverse, les variables déclarées dans un script restent en mémoire même après l'exécution. Ainsi, dans l'algorithme, la macro « environnement » est l'unique script des modules. Elle enregistre les valeurs des paramètres non variables (le nom des feuilles par exemple) qui seront utilisés par toutes les autres macros du module qui sont des fonctions. *Vous remarquerez au fil du script que le nom des variables et des fonctions ne contiennent pas de caractères spéciaux.*

Figure 25: Exemple de fonction pour Basic Office

```
                '*****************************************************************************'
Function min(nombres As Array) As Double
'======================'
'min(vecteur de nombres):trouve le minimum d'un groupe de nombres
'======================'
Dim indice As Long
min = 1.7976931348623*(10^308)
For indice = 0 to Ubound(nombres)
    If nombres(indice)<= min Then
        min = nombres(indice)
    End If
Next indice
End function
                '*****************************************************************************'
```

L'exemple ci-dessus présente la rédaction « type » d'une macro. Les macros sont délimitées par des lignes d'astérisques. Le début et la fin de la macro sont respectivement signalés par les balises « function » et « End function » s'il s'agit d'une fonction et par « Sub » et « End sub » s'il s'agit d'un script. Dans cet exemple, la fonction est nommée « min ». Elle est donc déclarée par : Function min. L'expression suivante « (nombres as Array) » désigne le nom des paramètres d'entrée de la fonction et leurs attributs. Certaines fonctions ne nécessitent pas de paramètres d'entrée. Le cas échéant, la

première ligne de la fonction ne comporte pas d'expression entre parenthèse. Dans le cas présent, le paramètre en entrée est une matrice (array) qui s'appelle « nombre ». En sortie, la fonction min renvoie le minimum des valeurs d'une matrice sous la forme d'un nombre décimal, déclaré par « As Double ». Ici, min est à la fois une fonction est le résultat. Lorsque min est appelée dans un script, il s'agit d'une fonction. Dans sa propre exécution, elle est associée à une variable.

L'expression « Dim...As... » équivaut à « déclarer...en tant que... ». Ici la variable indice est déclarée en tant que nombre entier (Long).

Exemple : appel de min dans un algorithme

minimum_a = min(a)

La variable minimum_a reçoit le minimum des valeurs de la matrice a. Ici min est une fonction. Dans son fonctionnement interne, min est une variable. Si l'on se réfère à la figure ci-dessus, min est initialisée à $1{,}7976931348623e^{308}$. A la fin de la procédure, min est affectée du minimum des valeurs de la matrice a. La valeur assignée à minimum_a est la variable « min » assimilée à la fonction « min ».

Attention, les couleurs des caractères ont une signification. Amis daltoniens, faites preuve de courage !

Figure 26: Typographie du Basic

```
'Chargement de l'environnement OSGeo
cmd = "call "  & Chr$(34) & URL_gdal & "o4w_env.bat" & Chr$(34)
Print #FileNo, cmd
```

Tableau 15: Typographie du Basic, couleur des caractères

Il est important de pouvoir différencier les différentes entités dans le texte de l'algorithme, pour vous repérer et en comprendre le fonctionnement.

Entité	Correspondance dans la syntaxe Basic Office	Couleur
Fonction	Identificateur	Vert
Variable	Identificateur	Vert
Opérateur	Opérateur	Bleu ciel
Expression Basic (If, While, End,...)	Expression réservée	Bleu marine
Chaîne de texte	Chaîne	Marron
Nombres	Nombres	Violet
Commentaires	Commentaires	Gris
Erreurs	Erreurs	Rouge

Sur l'image ci-dessus, plusieurs entités apparaissent : des variables, des chaînes de texte, des nombres, des opérateurs et des commentaires.

Vous pouvez bien évidemment changer ces couleurs. Cette modalité sera explicitée plus loin.

Les commentaires sont précédés d'une apostrophe ('). Ils vous expliquent le fonctionnement de la macro, le rôle des variables et les différentes étapes d'exécution, n'hésitez pas à vous y référer pour plus de compréhension des procédures.

2.3 Structure des feuilles

En parallèle, quatre feuilles composent le classeur de travail. Chaque feuille stocke des informations nécessaires à la réalisation d'une étape de l'algorithme. De même que pour le script, les structures des feuilles sont similaires, certaines cellules stockent des paramètres nécessaires à l'exécution du script (cellules teintées de jaune) alors que d'autres cellules stockent des résultats. L'index correspond à l'ordre dans lequel elles sont enregistrées dans Basic Office.

Tableau 16: Contenu des feuilles du classeur

Module	Contenu	Index
mtd	Adresses des dossiers de travail, métadonnées des rasters à traiter, recouvrement entre les rasters	0
EPSG	Codage des systèmes de projection utilisé par Qgis	1 (feuille masquée)
gestion_recouvrement	Liste des recouvrements entre les tuiles	2
changement	Paramètres de filtrage des tuiles, adresses des dossiers de livraison des données	3

NB : la feuille d'index 1 contient l'encodage des systèmes de projection pour une lecture par les fonctions de Gdal. Aucune modification n'est censée être apportée à cette feuille, elle est donc masquée par défaut.

3 Architecture de l'algorithme

L'algorithme d'application de la méthode de télédétection des coupes rases est compartimenté en cinq blocs indépendants abordant chacun une ou plusieurs étapes du traitement. Lorsqu'il est activé, le script lit des paramètres et des adresses de fichiers dans le classeur LibreOffice Calc qui sont intégrés dans des lignes de commandes rédigées dans des fichiers « .bat » (fichiers exécutables). Ces fichiers exécutables adressent des ordres à des fonctions de Gdal ou d'OrfeoToolBox pour traiter les images (voir guide de modification du script). Les macros sont de plusieurs types :

- initialisation des paramètres d'entrée
- traitement de tableur
- traitement de texte
- calcul arithmétique
- gestion de fichiers
- appel des fonctions des librairies de Qgis.

Pour intervenir sur le contenu du script, référez-vous au guide de modification de l'outil de télédétection des coupes rases.

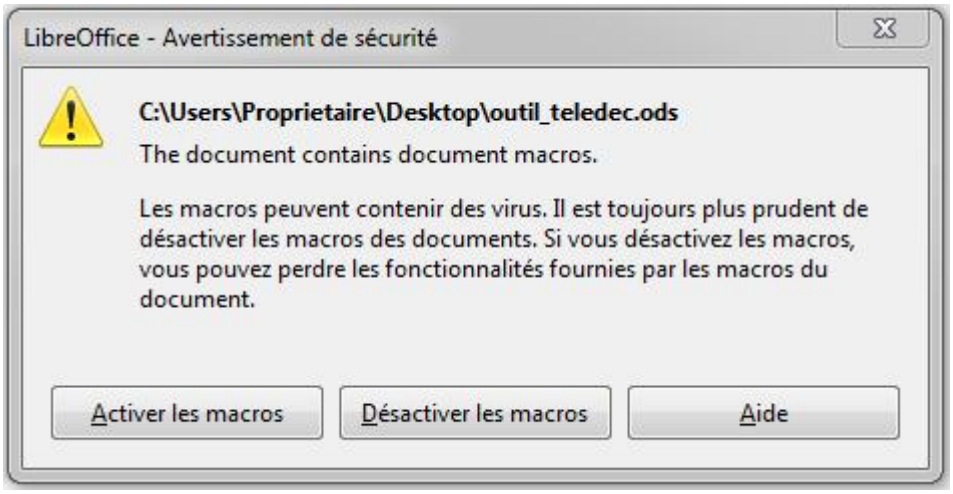
4 Fonctionnement pas-à-pas

Avant toute manipulation de l'algorithme, il convient de vérifier les points suivants. L'algorithme va créer des fichiers exécutables et des images dans les dossiers qui lui seront indiqués. Le choix des noms des dossiers et des sous-répertoires doit donc être effectué avec rigueur et proscrire les caractères spéciaux : lettres avec accents, signes de ponctuation, espaces …

Pour plus de confort dans l'exécution du script, il est préférable de travailler sur le disque dur de l'ordinateur. Il est néanmoins possible de travailler sur un disque dur externe en veillant bien à ce qu'il ne soit pas débranché en cours de traitement. L'avantage à travailler directement sur le disque dur externe, est que l'ordinateur ne sera pas ralenti par le poids des fichiers créés. Le stockage des images à traiter doit impérativement être effectué sur le disque dur de l'unité centrale ou sur un disque dur externe. Le fonctionnement sur réseau n'est pas envisageable du fait des caractères spéciaux qui peuvent figurer dans le titre des répertoires et des droits d'accès aux fichiers qui ne permettent pas toujours de les modifier. N'hésitez pas à travailler sur un ordinateur non utilisé et déconnecté du serveur.

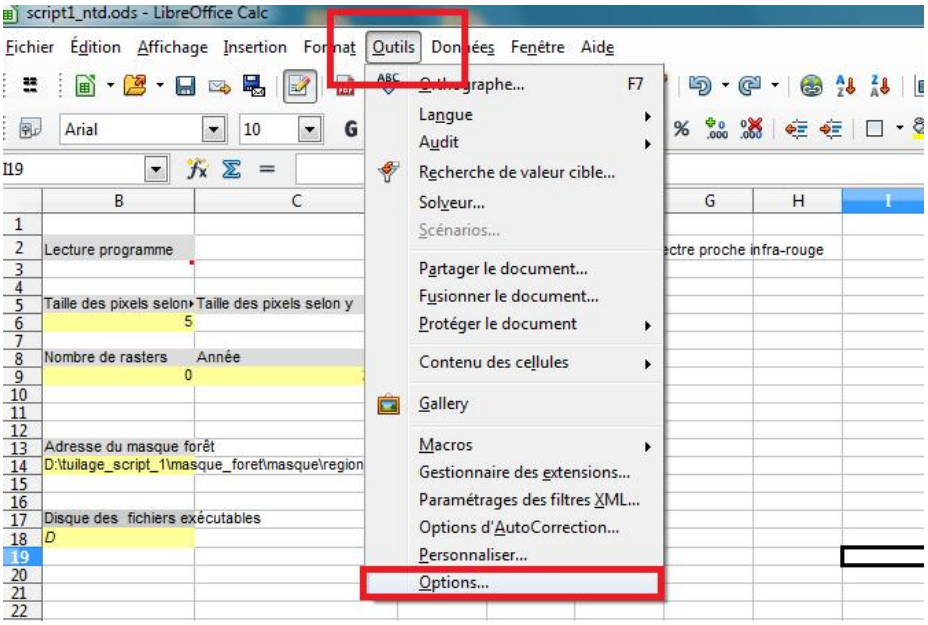
Pour utiliser l'outil de télédétection des coupes rases, il faut assez trivialement ouvrir le classeur « outil_teledec». Une fenêtre apparaît pour vous avertir de l'existence de macro dans le fichier. Cliquez sur le bouton « Activer les macros ».

Figure 27: Activation des macros à l'ouverture du classeur



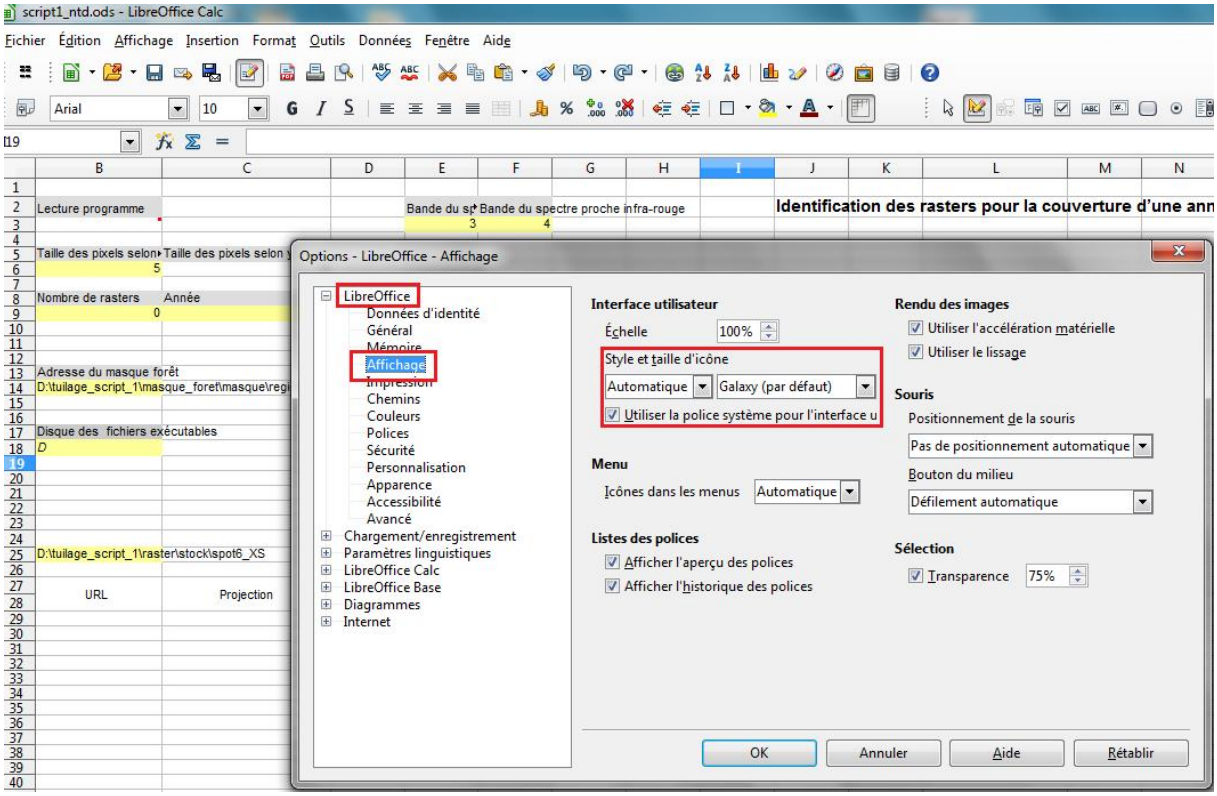
Avant de procéder à l'utilisation du script, vérifiez le thème d'affichage. Sélectionnez l'onlget « Outil » du ruban puis « Options » (voir image ci-dessous).

Figure 28: Sélection du thème(1)



La fenêtre d'options de Libre Office s'affiche. Dans cette fenêtre sélectionner « Libre Office » puis « Affichage » et choisir dans le menu « Interface de l'utilisateur » le style « Galaxy » qui est normalement activé par défaut.

Figure 29: Sélection du thème (2)



Vous pourrez ainsi suivre plus facilement le guide en vous référant aux impressions d'écran.

Positionnez-vous ensuite sur la feuille « mtd». Elle doit être traitée avec précaution car c'est elle qui stocke l'ensemble des adresses des dossiers dans lesquels sont puisées les images de fonctionnement de l'algorithme. *Une attention particulière devra être portée en général lors de la manipulation des feuilles, car une erreur de saisie peut facilement biaiser voire empêcher le fonctionnement du script.*

La couleur des cellules a une signification. Les cellules incolores ne demandent aucune intervention de l'utilisateur. Les cellules grises indiquent des paramètres à renseigner et les cellules jaunes contiennent les paramètres à renseigner par l'utilisateur. Les cellules comportant un coin rouge sont associées à un commentaire. Le cas échéant, il est impératif de lire le commentaire avant toute action sur la cellule. Pour afficher le commentaire, passez le curseur sur le coin rouge.

Les paragraphes suivant vous indiqueront les modalités d'utilisation du script. Attention, avant d'utiliser ce script, vérifiez les options d'alimentation de l'ordinateur. Certains traitements peuvent être très longs (plus de 10 heures) et il vaut mieux ne pas interrompre le déroulement du script. Un paragraphe est cependant dédié à l'utilisation des macros en cas d'interruption d'u script. Lors de l'exécution du programme, n'ouvrez aucune autre fenêtre pour éviter de ralentir le système.

4.1 Première étape : renseignement des images à traiter

Renseignement des adresses des dossiers dans la feuille « mtd »

Avez-vous ouvert le classeur, affiché le style « galaxy » avant de vous positionner sur la feuille « mtd » (feuille 1)? Comme indiqué précédemment, la feuile « mtd » présente des cellules jaunes et des cellules grises. Vous allez remplir les cellules jaunes, selon ce qui vous est spécifié dans les cellules grises.

Figure 30: Aspect de la feuille "mtd"

Vous allez dans un premier temps renseigner les adresses des dossiers contenant les fichiers suivants :

- les fichiers textes de métadonnées au format « .txt » en A9

	A	B	C	D	E	F
1	**Lecture pour Basic Office**					
2	Adresse du raster à traiter	Lecture programme			Bande du spectre rouge	Bande du spectre proche infra-rouge
3					3	4
4						
5	Taille des tuiles en mètre	Taille des pixels selon x	Taille des pixels selon y			
6	10000	5	-5			
7						
8	Adresse du fichier texte de métadonnées	Nombre de rasters	Année			
9	D:\tuilage_script_1\mtd	27	2014			
10						
11						
12						
13	Adresse des images de tuilage	Adresse du masque forêt				
14	D:\tuilage_script_1\tuilage\10\2013	D:\tuilage_script_1\masque_foret\masque\region_tuiles				
15						
16						
17	Adresse de la bibliothèque OSGeo	Disque des fichiers exécutables				
18	C:\OSGeo4w64	*D*				
19						
20						
21	Version OSGeo					
22	OSGeo4W					
23						
24	**Liste de rasters à traiter**	**Adresse du dossier**				
25		D:\tuilage_script_1\raster\stock\spot6_XS				

- les tuiles résultant du tuilage des rasters à traiter en A14
- le masque forêt tuilé à appliquer en B14. Commencer par construire le masque tuilé.
- les librairies « apps » et « bin » d'OSGeo4w64 en A18
- les fichiers exécutables du script en B18. Attention, si lors de l'exécution du script le message d'erreur « Erreur d'E/S générale » apparaît, changez d'emplacement. Le fonctionnement des fichiers exécutables est soumis au droit d'accès des compartiments des disques durs.

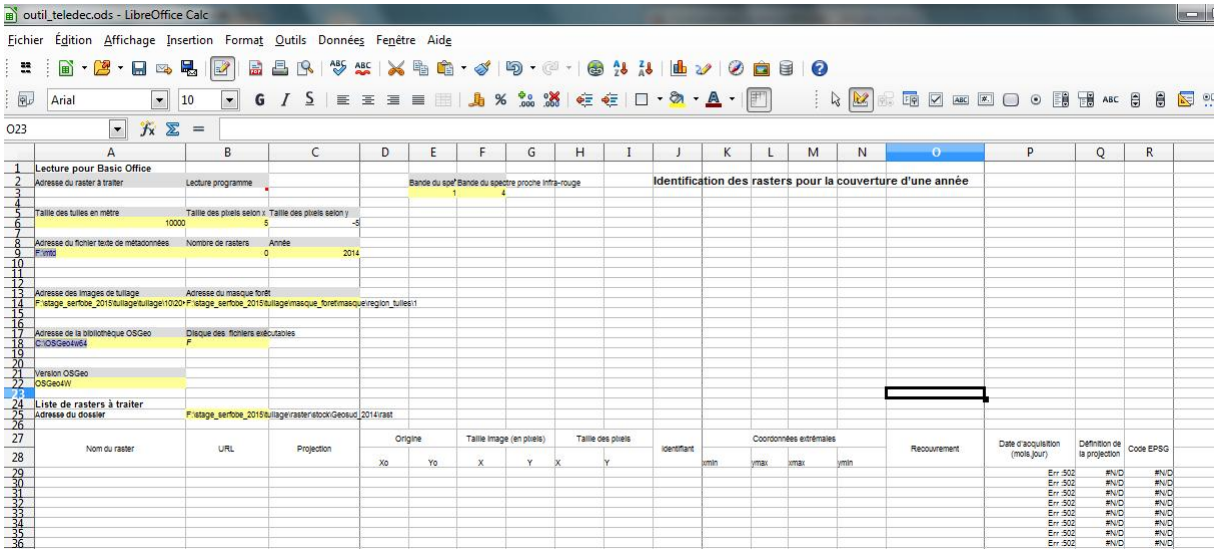
Les images satellites à traiter en B25. Préférez des images corrigées en réflectance TOA.

Indiquez ensuite la taille des tuiles que vous souhaitez créer en A6. Cette valeur doit être spécifiée en mètres et représente la longueur d'un côté d'une tuile. La résultante sera une image carrée. De même, choisissez la taille des pixels en B6. Les pixels seront carrés, la valeur selon l'axe x est identique à la valeur selon l'axe y. Vous n'avez pas besoin de spécifier de valeur de taille des pixels selon y. Pour la méthode, indiquez une taille de tuile de 10km (10 000m) et une taille de pixel de 5 m. Si vous désirez changer la taille des tuiles ou des pixels, *veillez à ce que la taille des tuiles soit un multiple de la taille des pixels.*

En fonction du satellite dont sont issues les images, précisez les numéros des bandes à utiliser pour le calcul du NDVI : le rouge en E3 et l'infrarouge en F3.

Enfin, vous devez déclarer la version d'OSGeo utilisée en A22. Par défaut, la version OSGeo4w est inscrite. C'est celle qui a servi à l'élaboration du script.
Vous devez vérifier que le tableau ne contient aucune donnée, comme sur l'image suivante :

Figure 31: Tableau de métadonnées vide

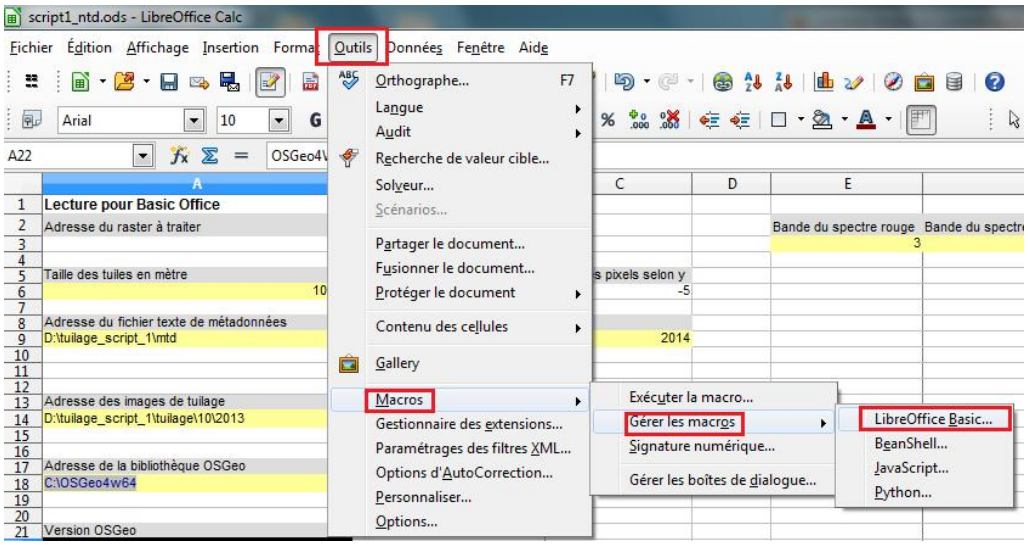


Vous allez maintenant pourvoir vous amuser un peu avec le script et constater que son utilisation est somme toute assez simple.

Initialisation de l'éditeur Basic Office

Pour afficher le script, vous devez ouvrir l'éditeur de Libre Office Basic. Sélectionnez l'onglet « Outil » puis « Macro », « Gérer les macros », « Libre Office Basic ».

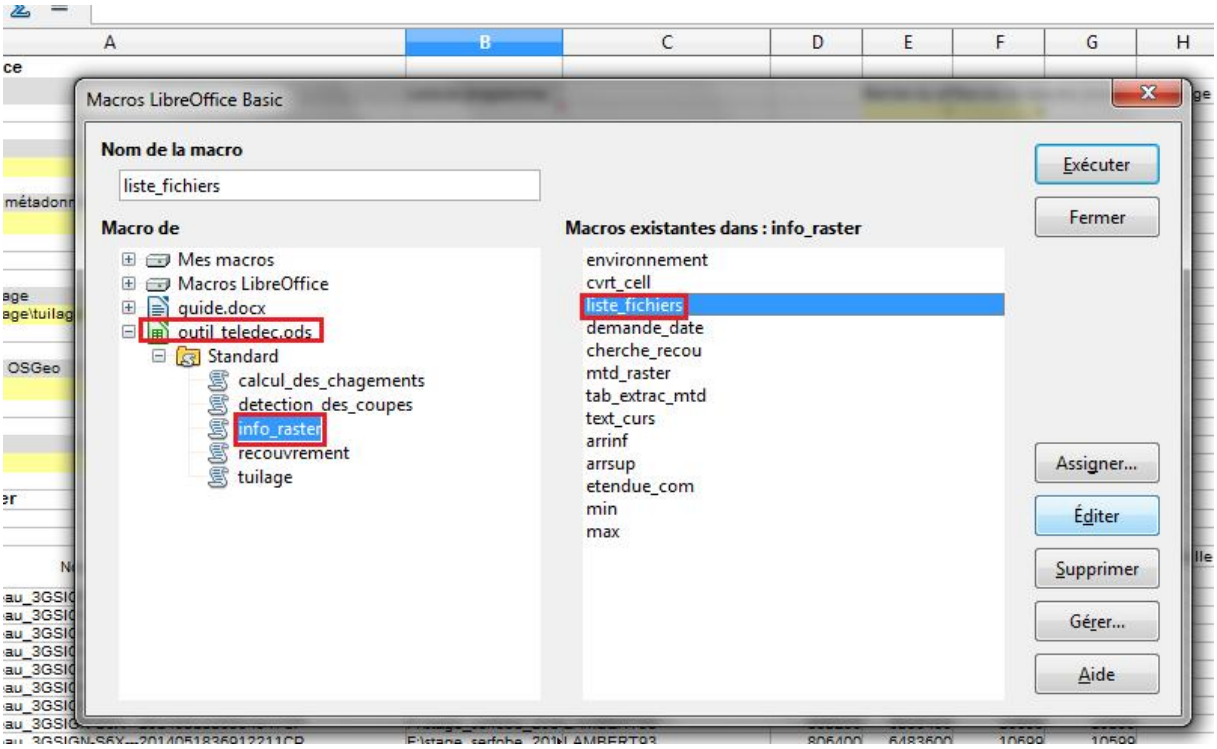
Figure 32 : Chargement du Basic



La fenêtre de gestion des macros s'affiche. Développez les titres « outil_teledec.ods » et « Standard ». Les cinq modules décrits précédemment apparaissent. Positionnez-vous sur

«info_raster ». Dans la fenêtre de droite sont listées les macros figurant dans ce module. Cliquez sur « liste_fichiers » puis sur le bouton « Editer ».

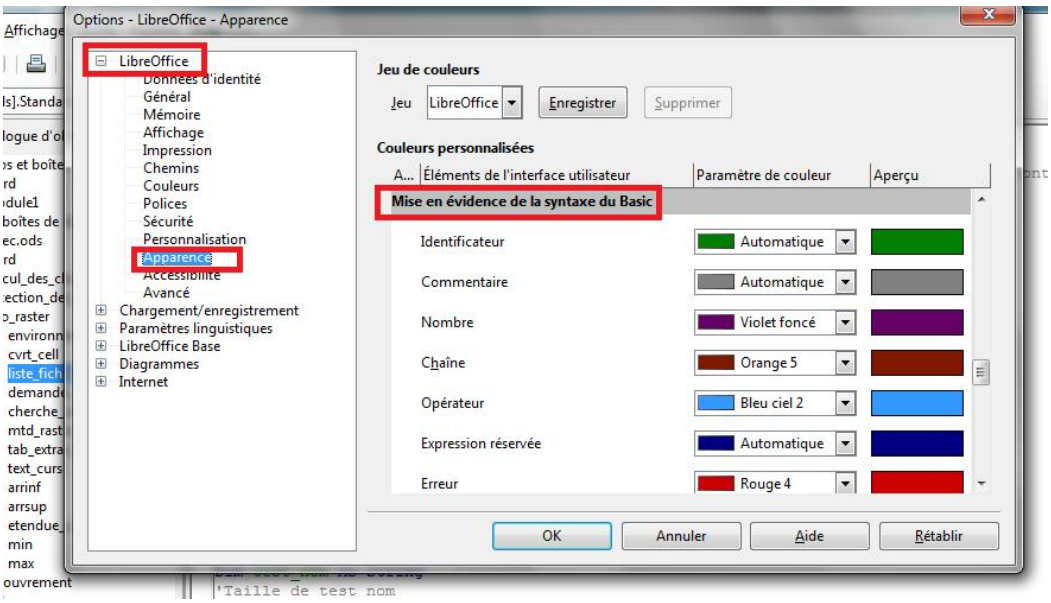
Figure 33: Chargement de la macro "liste_fichiers"



L'éditeur de Libre Office Basic s'affiche.

Pour que les impressions d'écran et votre affichage de l'éditeur soient similaires, vous allez changer les couleurs de syntaxe de l'éditeur de Basic Office. Cliquer sur options, LibreOffice, Apparence et positionnez-vous sur l'intitulé « Mise en évidence de la syntaxe du Basic ». Choisissez les couleurs indiquées en figure 12 de la page suivante.

Figure 34: Choix des couleurs de la syntaxe du Basic



Vérification des images en entrée

Avant d'exécuter la macro, assurez-vous de la qualité des rasters en entrée. Les images dont les dates d'acquisition sont antérieures à mi-avril ne doivent pas être intégrées au traitement, l'état de feuillaison ne permettant pas de calculer un indice de végétation fiable. Vérifiez aussi que le système de projection associé aux images est bien le « Lambert 93 », ayant pour code EPSG:2154 dans Gdal. Plusieurs expressions sont utilisées pour désigner le Lambert 93, celles qui sont prises en charge par l'outil de télédétection sont indiquées dans la feuille « EPSG » qui est masquée. Les cellules contenant l'information sont colorées en orange dans la feuille EPSG.

Les pixels en no-data de l'image doivent être codés par la valeur zéro. Si ce n'est pas le cas, notez que vous devrez modifier le script lors du calcul de NDVI.
Les formats d'images pris en compte dans le traitement sont indiqués des lignes 181 à 184 du module info_raster. Vous pouvez ajouter un format s'il n'existe pas dans le vecteur « format ». Pour ce faire, insérez la nouvelle extension de fichier entre guillemets dans le vecteur « format », en minuscule et en majuscule, en suivant la syntaxe de la ligne 182.
Modifiez la ligne 181 en remplaçant 10 par 10 + le nombre d'éléments ajoutés dans le vecteur.
Remplacez 9 par le nombre d'éléments dans « format » -1 dans la ligne 184.

Figure 35: Formats d'images pris en charge par l'algorithme

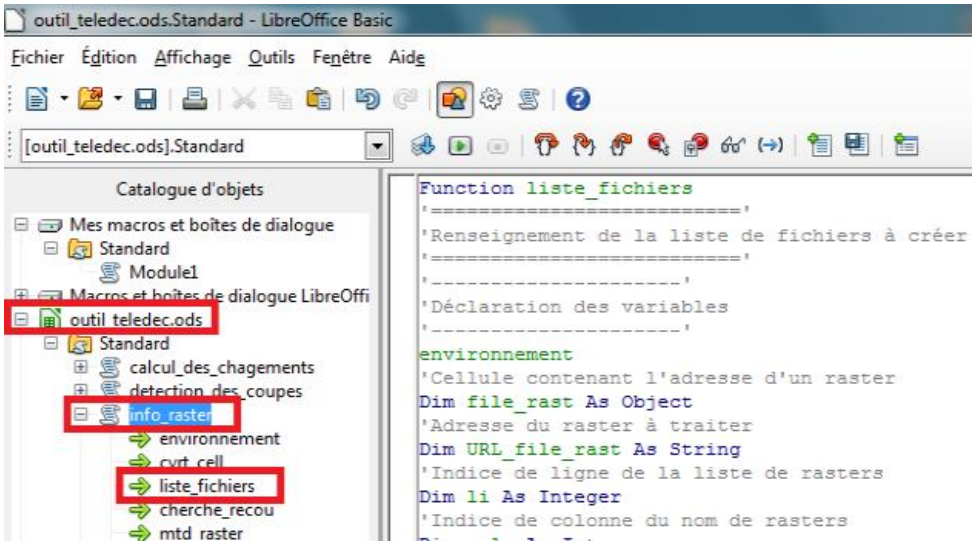
```
181     Dim format (10) As String
182     format () = Array(".tif",".jpg",".ecw",".img",".jp2",".TIF",".JPG",".ECW",".IMG",".JP2")
183     Dim i As Integer
184     For i = 0 to 9
```

Identification des fichiers à traiter : macro « liste_fichier »

Temps d'éxécution : 15 à 20 minutes pour 21 rasters.

Pour commencer, développez l'onglet outil_teledec puis le module « info_raster », pour afficher l'ensemble des macros qu'il contient. Double-cliquez ensuite sur la flèche verte à côté de la macro « liste_fichiers ». L'éditeur vous positionne aussitôt sur le corps de cette fonction.

Figure 36: Sélection de la macro "liste_fichiers"

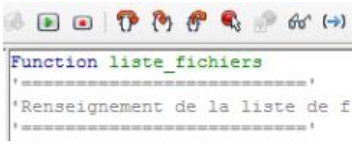


Vous devez ensuite l'activer en cliquant sur l'icône « Exécuter le BASIC », voir figure suivante :

Figure 37 : Bouton d'exécution du Basic

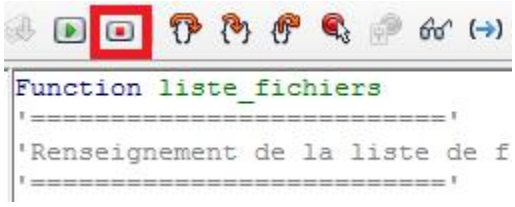
La barre d'outils est modifiée ainsi :

Figure 38 : Modification du ruban



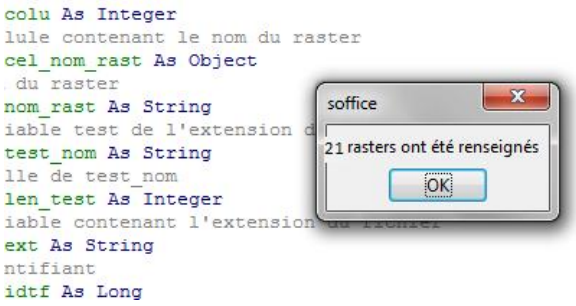
Maintenant, ne touchez plus à rien et laissez la macro travailler. Des fenêtres LibreOffice Writer et DOS vont se succéder, témoignant du bon fonctionnement de la fonction. Si une boîte de dialogue signalant que des métadonnées sont manquantes s'ouvre, stoppez le déroulement en cliquant sur le voyant rouge et relancez liste_fichiers.

Figure 39 : Modification des boutons d'action lors de l'exécution du Basic



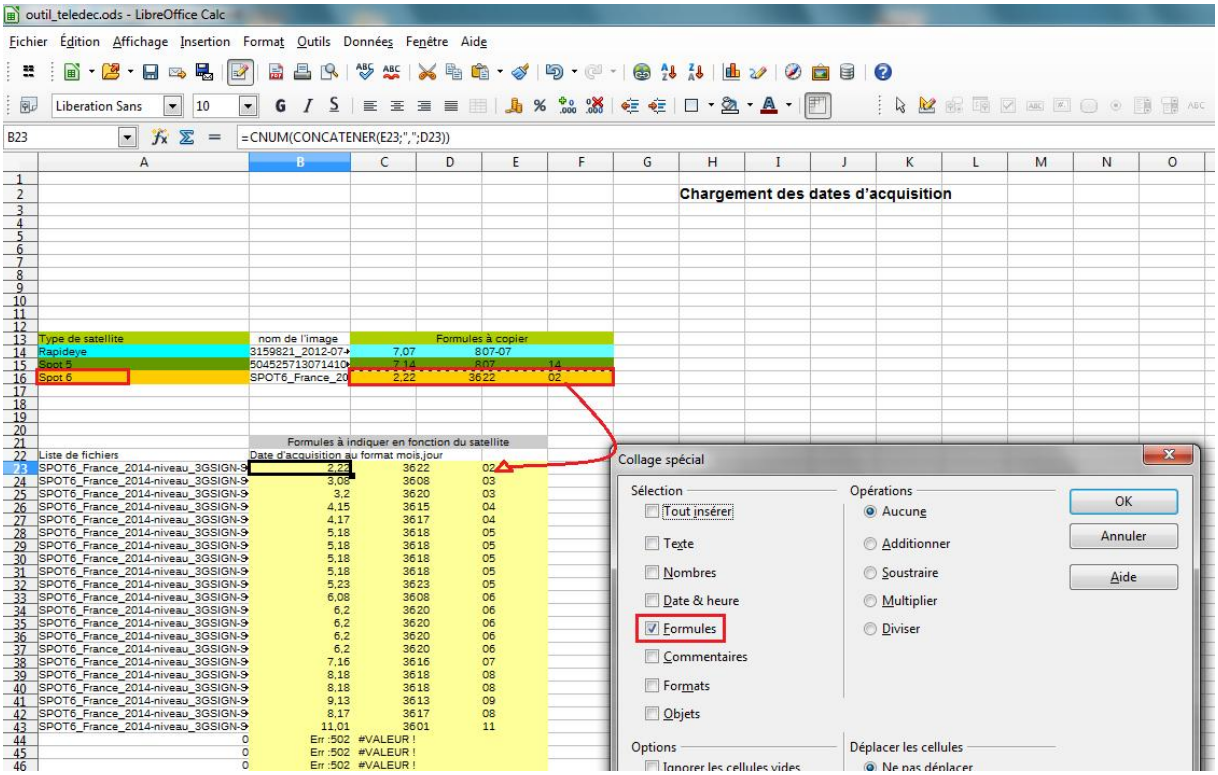
Si le problème persiste, il est possible que le répertoire sur lequel vous avez déposé les rasters ne soit pas accessible au script. Vérifiez que le nom des fichiers utilisés ne comporte aucun caractère spécial. Sinon, changez l'emplacement des fichiers, n'oubliez pas de modifier les renseignements de la feuille « mtd » le cas échéant. Retentez alors de lancer la macro. Lorsque le traitement est terminé, une boîte de dialogue s'affiche et vous indique le nombre de rasters qui ont été enregistrés (voir figure 18 ci-dessous).

Figure 40 : Fin d'exécution de la macro "liste_fichiers"



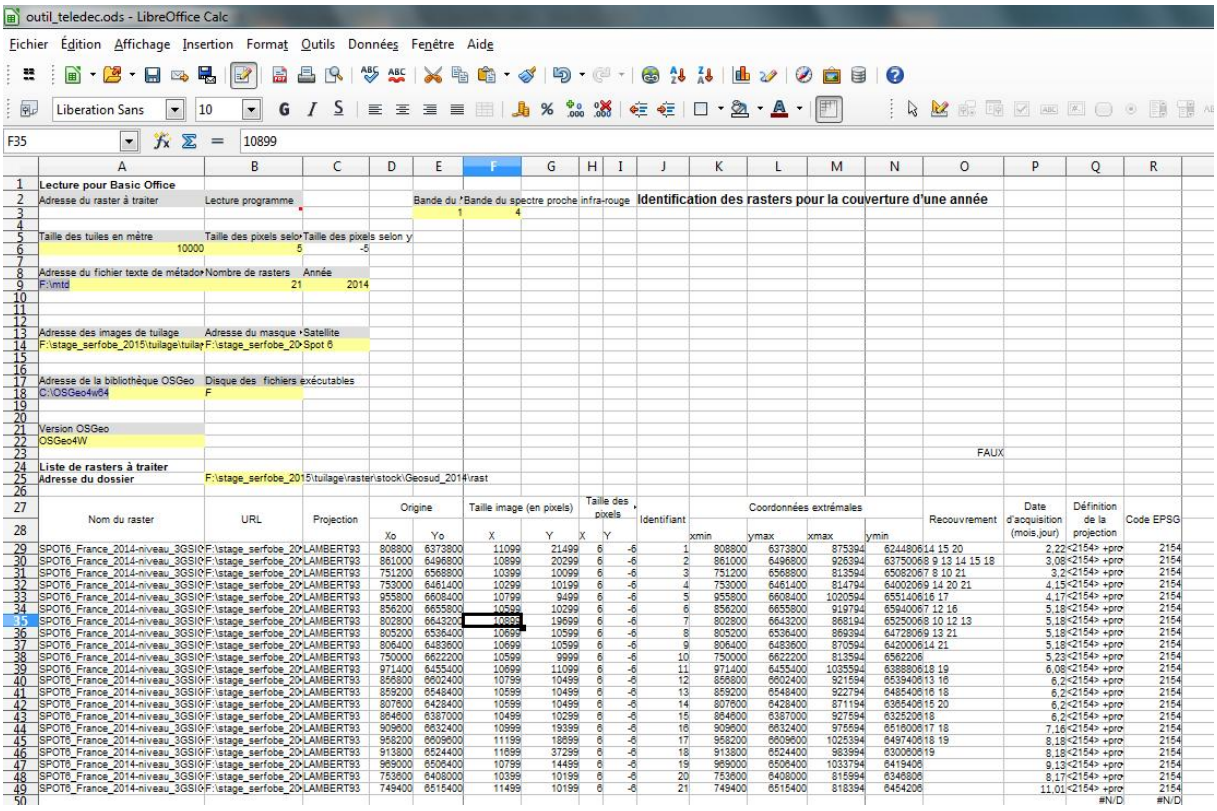
Cliquez sur le bouton « OK ». Une fois que la liste de fichiers est chargée, positionnez-vous sur la feuille « date_acquisition ». Vous devez copiez les formules qui repèrent la date d'acquisition dans le nom des rasters. Elles sont signalées par couleur en fonction du satellite (voir figure 19). Copiez les cellules colorées et collez-les sur la première ligne de la plage de cellules colorées en jaune (utilisez l'option « collage spécial » et ne cochez que les formules). Etendez ensuite les formules sur l'ensemble des lignes.

Figure 41 : Recherche de la date d'acquisition des images



Dans la colonne Date d'acquisition, doivent apparaître des nombres décimaux qui représentent la date d'acquisition au format (mois,jour).
Le tableau final doit être similaire à la figure qui suit :

Figure 42 : Tableau de métadonnées complet



outil_teledec.ods - LibreOffice Calc

Fichier Édition Affichage Insertion Format Outils Données Fenêtre Aide

Liberation Sans 10

F35 = 10899

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	**Lecture pour Basic Office**																	
2	Adresse du raster à traiter	Lecture programme			Bande du '	Bande du spectre proche		infra-rouge		**Identification des rasters pour la couverture d'une année**								
3					1	4												
4																		
5	Taille des tuiles en mètre	Taille des pixels selo	Taille des pixels selon y															
6	10000	5	-5															
7																		
8	Adresse du fichier texte de métado	Nombre de rasters	Année															
9	F:\mtd	21	2014															
10																		
11																		
12																		
13	Adresse des images de tuilage	Adresse du masque	Satellite															
14	F:\stage_serfobe_2015\tuilage\tuila	F:\stage_serfobe_20	Spot 6															
15																		
16																		
17	Adresse de la bibliothèque OSGeo	Disque des fichiers exécutables																
18	C:\OSGeo4w64	F																
19																		
20																		
21	Version OSGeo																	
22	OSGeo4W																	
23															FAUX			
24	**Liste de rasters à traiter**																	
25	**Adresse du dossier**	F:\stage_serfobe_2015\tuilage\raster\stock\Geosud_2014\rast																
26																		
27	Nom du raster	URL	Projection	Origine		Taille image (en pixels)		Taille des pixels		Identifiant	Coordonnées extrémales				Recouvrement	Date d'acquisition (mois,jour)	Définition de la projection	Code EPSG
28				Xo	Yo	X	Y	X	Y		xmin	ymax	xmax	ymin				
29	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	808800	6373800	11099	21499	6	-6	1	808800	6373800	875394	624480614 15 20		2,22	<2154> +pro	2154
30	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	861000	6496800	10899	20299	6	-6	2	861000	6496800	926394	637500618 9 13 14 15 18		3,08	<2154> +pro	2154
31	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	751200	6568800	10399	10099	6	-6	3	751200	6568800	813594	650820618 10 21		3,2	<2154> +pro	2154
32	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	753000	6461400	10299	10199	6	-6	4	753000	6461400	814794	640020618 14 20 21		4,15	<2154> +pro	2154
33	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	955800	6608400	10799	9499	6	-6	5	955800	6608400	1020594	655140616 17		4,17	<2154> +pro	2154
34	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	856200	6655800	10599	10299	6	-6	6	856200	6655800	919794	659400617 12 16		5,18	<2154> +pro	2154
35	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	802800	6643200	10899	19699	6	-6	7	802800	6643200	868194	652500618 10 12 13		5,18	<2154> +pro	2154
36	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	805200	6536400	10699	10599	6	-6	8	805200	6536400	869394	647280619 13 21		5,18	<2154> +pro	2154
37	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	806400	6483600	10699	10599	6	-6	9	806400	6483600	870594	642000614 21		5,18	<2154> +pro	2154
38	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	750000	6622200	10599	9999	6	-6	10	750000	6622200	813594	6562206		5,23	<2154> +pro	2154
39	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	971400	6455400	10699	11099	6	-6	11	971400	6455400	1035594	638880618 19		6,08	<2154> +pro	2154
40	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	856800	6602400	10799	10499	6	-6	12	856800	6602400	921594	653940613 16		6,2	<2154> +pro	2154
41	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	859200	6548400	10599	10499	6	-6	13	859200	6548400	922794	648540616 18		6,2	<2154> +pro	2154
42	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	807600	6428400	10599	10499	6	-6	14	807600	6428400	871194	636540615 20		6,2	<2154> +pro	2154
43	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	864600	6387000	10499	10299	6	-6	15	864600	6387000	927594	632520618		6,2	<2154> +pro	2154
44	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	909600	6632400	10999	19399	6	-6	16	909600	6632400	975594	651600617 18		7,16	<2154> +pro	2154
45	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	958200	6609600	11199	18699	6	-6	17	958200	6609600	1025394	649740618 19		8,18	<2154> +pro	2154
46	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	913800	6524400	11699	37299	6	-6	18	913800	6524400	983994	630060619		8,18	<2154> +pro	2154
47	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	969000	6508400	10799	14499	6	-6	19	969000	6508400	1033794	6419406		9,13	<2154> +pro	2154
48	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	753600	6408000	10399	10199	6	-6	20	753600	6408000	815994	6346806		8,17	<2154> +pro	2154
49	SPOT6_France_2014-niveau_3GSI	F:\stage_serfobe_20	LAMBERT93	749400	6515400	11499	10199	6	-6	21	749400	6515400	818394	6454206		11,01	<2154> +pro	2154
50																	#N/D	#N/D

Dans ce tableau, plusieurs blocs d'informations sont présents : des métadonnées et des descriptions générées par le script. Dans la colonne recouvrement figure pour chaque raster la liste des images qui le recouvrent en partie. La colonne identifiant signale le numéro qui est attribué au raster. Dans le dossier que vous avez choisi pour stocker les tuiles figurent dorénavant autant de sous-dossiers qu'il y a d'identifiants. Les tuiles de chaque raster seront donc stockées dans des dossiers indépendants.

L'étape suivante du traitement est le tuilage des rasters.

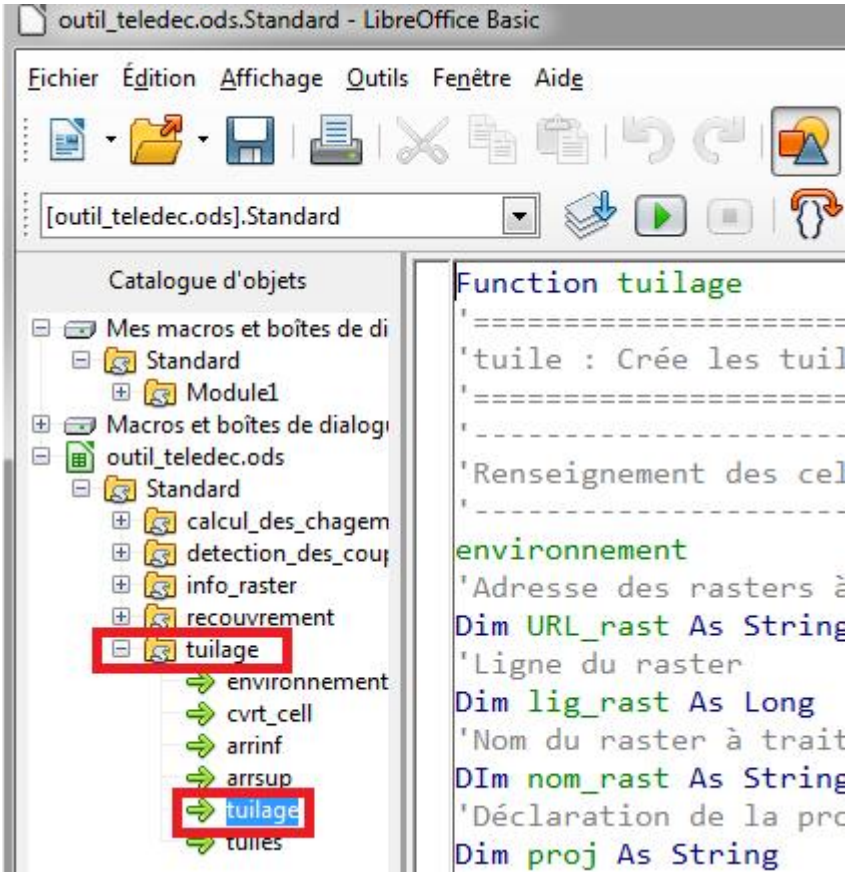
4.2 Deuxième étape: tuilage des rasters avec la macro « tuile »

Temps d'exécution : 8 à 10 heures pour 50 Go d'images

Vous allez procéder de la même manière que pour la macro « liste_fichiers ». Développez l'onglet « tuilage » et sélectionnez la macro « tuile » (voir figure 21). Vous pouvez ne tuiler qu'une partie des rasters, dans ce cas, vous devez reconstituer le tableau de la feuille « mtd » pour qu'ils ne contiennent que les fichiers que vous voulez traiter.

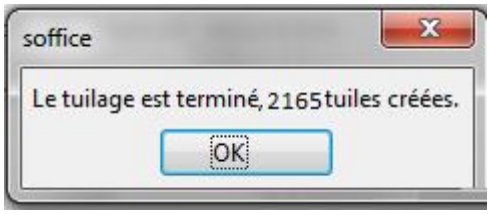
Pour activer la macro « tuilage », vous n'avez qu'à cliquer sur le bouton « Exécuter le BASIC » :

Figure 43 : Sélection de la macro "tuilage"



Laissez l'ordinateur dérouler le script et attendez la boîte de dialogue de fin de fonction qui vous indiquera le nombre de raster traités et le nombre de tuiles créées.

Figure 44: Fin de la macro "tuilage"

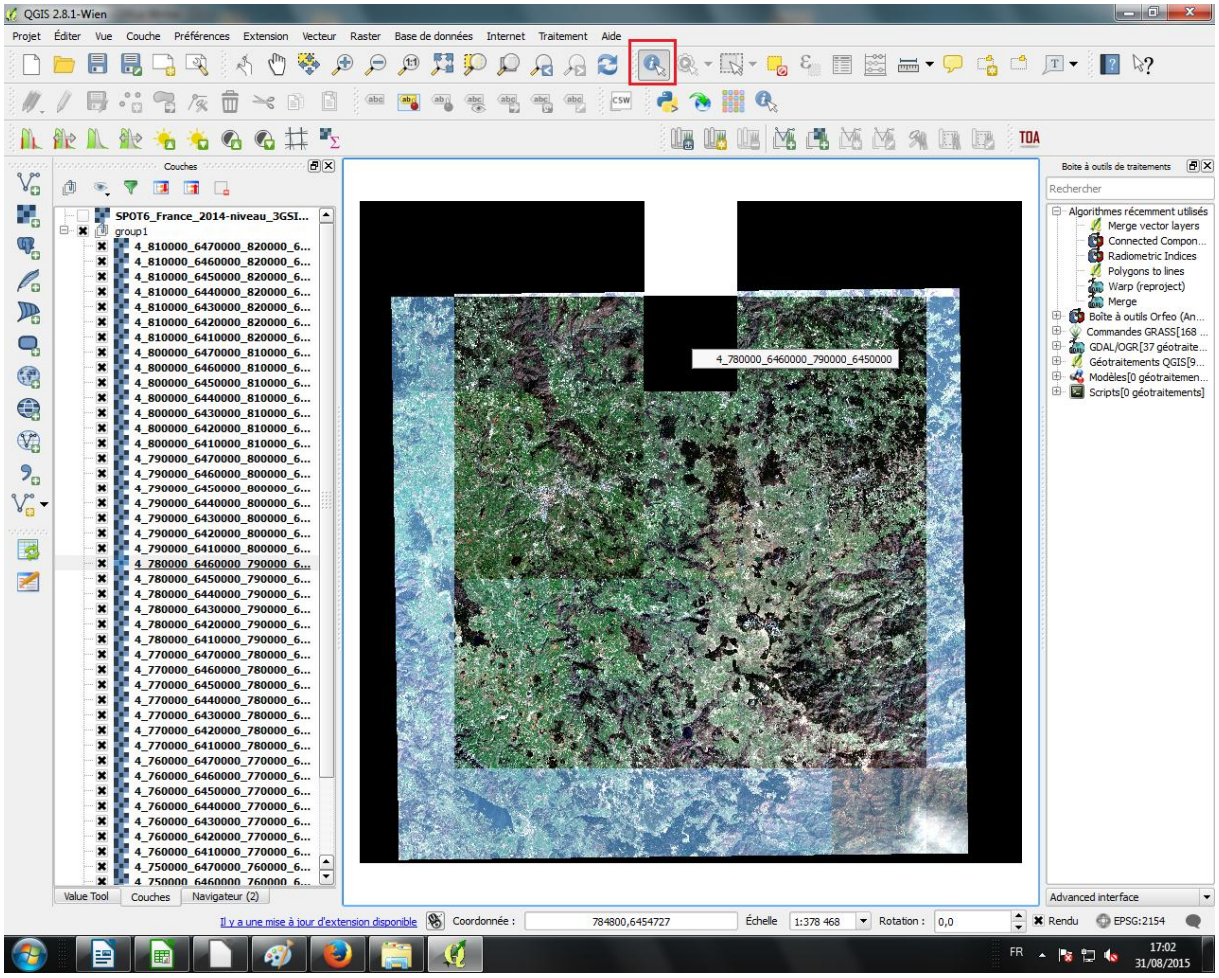


Cliquez sur le bouton « OK »

Vous devez procéder à une vérification des tuiles créées, dans Qgis, chargez chaque raster et les tuiles qui lui sont associées. Vérifiez qu'aucune tuile ne présente d'erreur.

Notez que le nom des tuiles correspond à l'identifiant du raster duquel elles sont issues suivi de leur coordonnées d'emprise. Un effet mosaïque peut apparaître, mais il n'y a pas lieu de s'inquiéter, il ne s'agit que de l'affichage. En revanche si une tuile monochrome apparaît, il faut vérifier les paramètres d'affichage pour s'assurer qu'il n'y a pas eu d'erreur dans le tuilage.

Figure 45: Identification des tuiles rates (issues d'image satellite SPOT6 2014)



Dans le contexte de traitement des images pour parvenir à un tuilage correct, une tuile de bonne qualité est un extrait fidèle du raster en entrée. Les tuiles tronquées, résultat d'une erreur survenue lors du tuilage sont donc de mauvaise qualité. Lorsqu'une tuile vous paraît problématique, activez la fonction « identifier les entités » dans Qgis et faîtes un clic droit sur son emplacement pour connaître son identifiant.

Vous pouvez alors consulter les propriétés de la tuile et en particulier son histogramme. Si les valeurs de pixels sont constantes (figure 25), alors la tuile est ratée et devra être recalculée. Si l'histogramme fait apparaître des courbes (figure 24), il s'agit juste d'un problème d'affichage que pouvez régler en appliquant le style du raster initial à la tuile concernée.

Figure 47 : Histogramme d'une tuile ratée

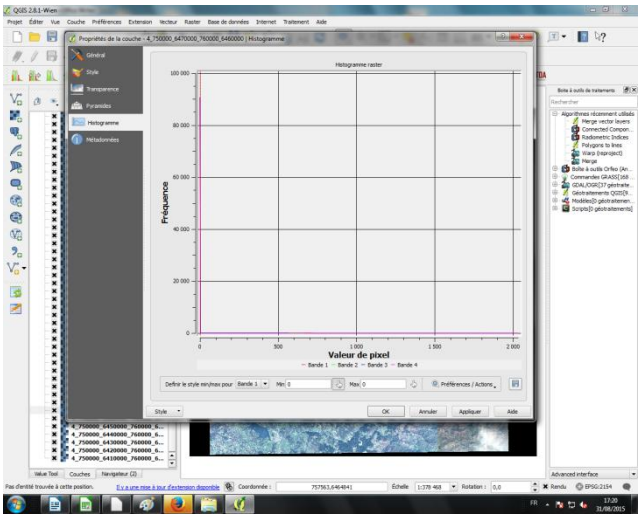
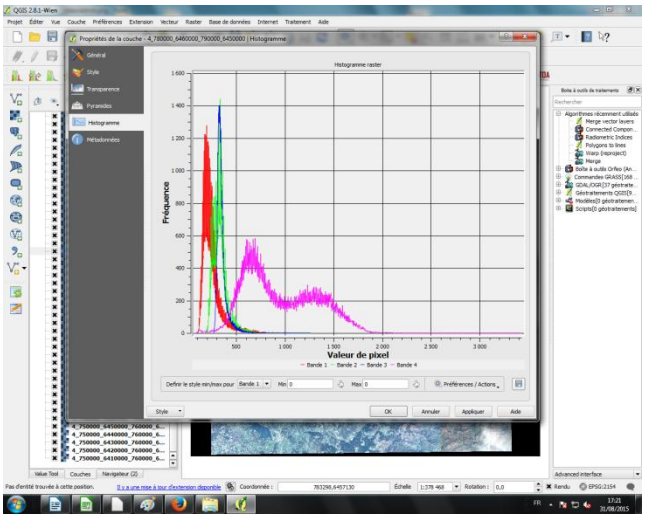
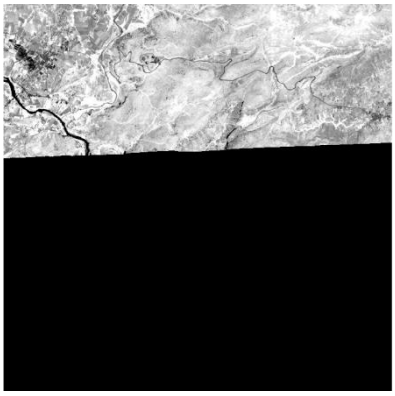


Figure 46: Histogramme d'une tuile correcte



Pour corriger le problème, il faut supprimer la tuile et exécuter de nouveau la macro tuilage qui ne créera que les tuiles manquantes. Pour le calcul de NDVI ou de la différence de NDVI, si une ou plusieurs tuiles sont incomplètes, relancez les macros concernées après suppression des erreurs.
Si le problème persiste, il se peut que la complétion des tuiles ne soit pas effective à cause d'une mauvaise coordination entre le script et les fichiers exécutables qui commandent les fonctions de géotraitement. Dans ce cas, reportez-vous au guide de modification du script.

Figure 48: Tuile incomplète (ndvi sur images stallite SPOT6_2014)

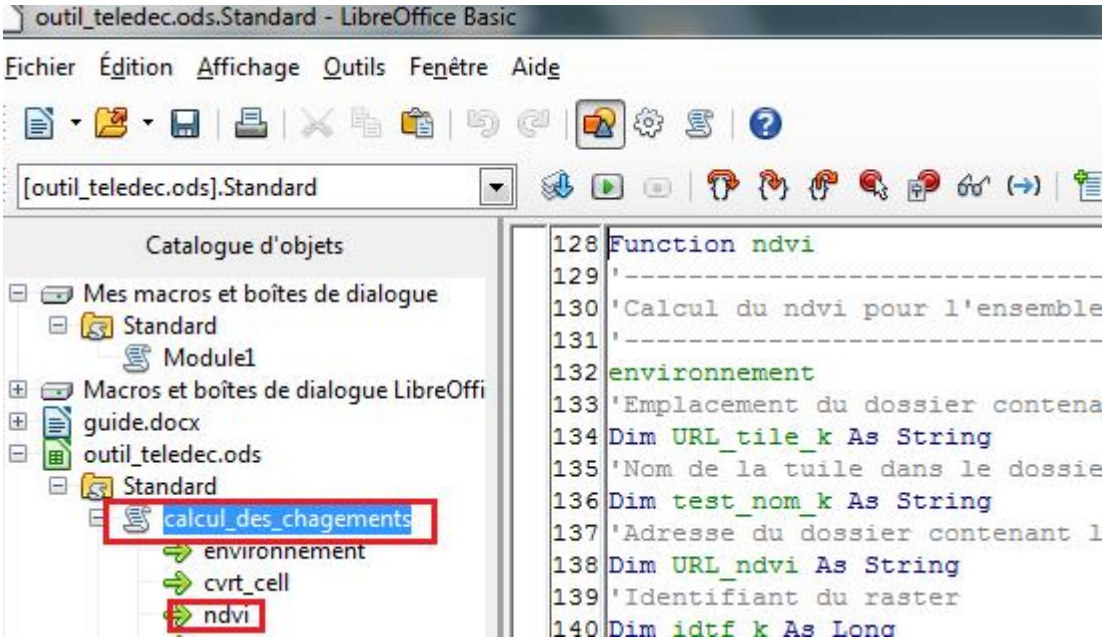


4.3 Troisième étape : calcul du NDVI

Calcul de l'indice de végétation : macro « NDVI»

Pour lancer le calcul de NDVI, développez l'onglet « calcul des changements » et choisissez la macro « NDVI » puis activez-la.

Figure 49: Sélection de la macro "NDVI"



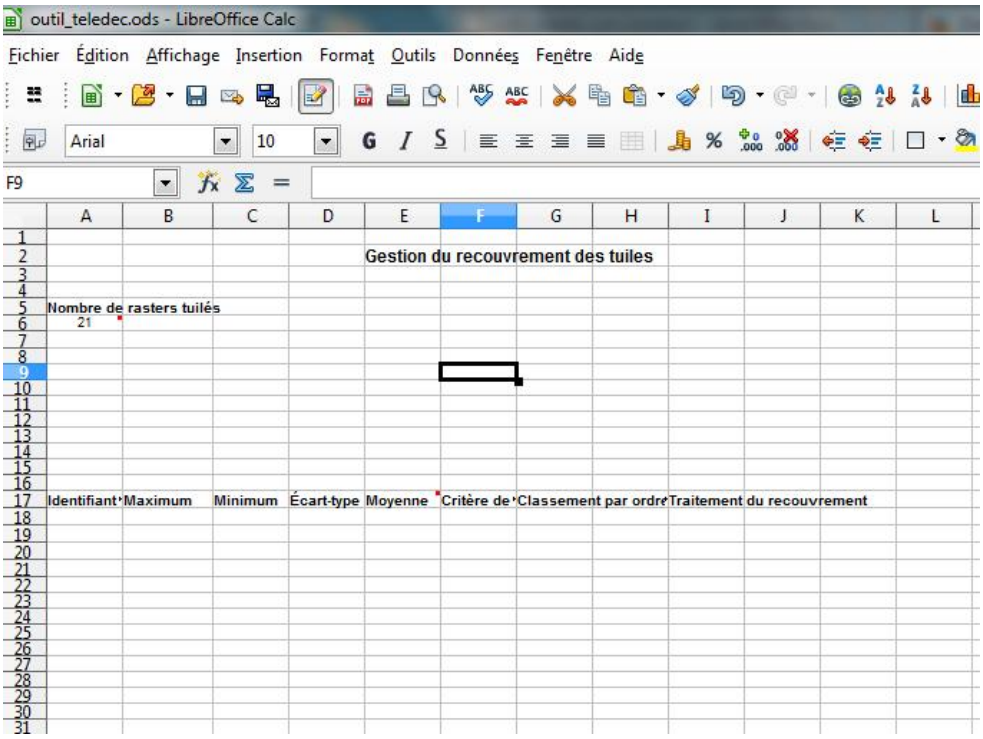
4.4 Quatrième étape : identification des recouvrements entre tuiles et composition des images

Enregistrement des recouvrements

Temps d'exécution : 4 heures pour 50Go d'images

L'algorithme doit lister les recouvrements qui existent entre les rasters. Ouvrer la feuille « gestion_recouvrement ».

Figure 50: Feuille "gestion des recouvrements"



Vous allez ensuite développer le module « recouvrement » pour vous placer sur la macro « extrait_recouvrement ».

Figure 51: Sélection de la macro " extrait_recouvrement"

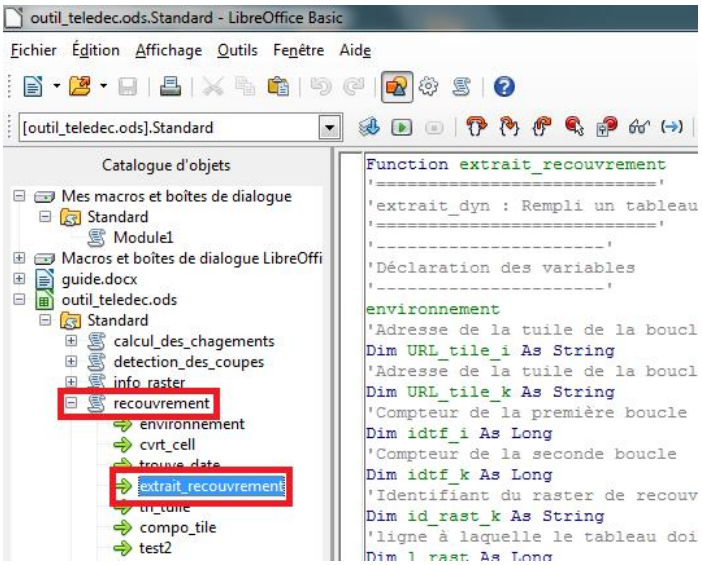
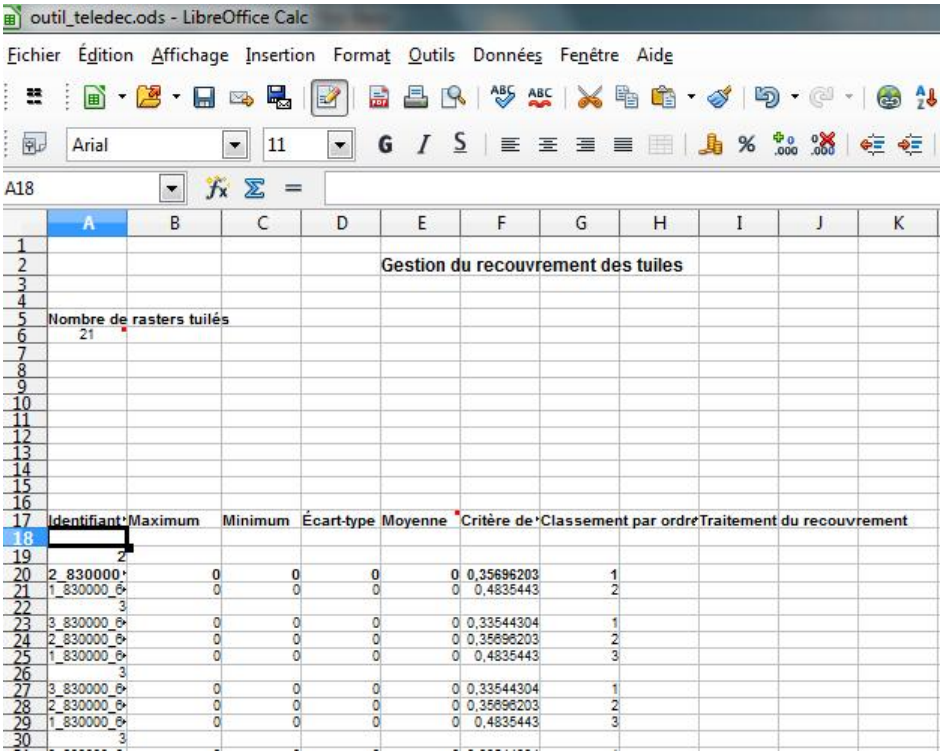


Figure 52: Valeur de no-data à prendre en compte pour la recomposition des tuiles



Positionnez vous sur la ligne 556 de la macro « merge_tile ». Vérifiez que la valeur de pixel à remplacer est bien « -4 », sinon, modifiez-la.

Lancez maintenant la macro « extrait_recrouvrement » en cliquant sur le bouton « Exécuter le BASIC », comme pour les macros précédentes. La fin d'exécution de la macro est signalée par une boîte de dialogue qui vous informe des nombres de recouvrements et de tuiles associées. Attention, ces chiffres sont valables pour l'ensemble des rasters et prennent en compte des zones qui ne font pas partie de la région à cause de l'étendue des rasters situés sur le pourtour de la limite administrative

Le tableau résultant doit être semblable à celui-ci :

Figure 53: Liste des recouvrements

```
553 Print #FileNo, cmd 'Ecriture de la ligne de commande
554 cmd = "otbcli_BandMath -il " & Chr$(34) & URL_tile_cp & Chr$(34)
555 cmd = cmd & " " & Chr$(34) & URL_tile_cpt & Chr$(34)
556 cmd = cmd &  " -exp " & Chr$(34) & "if(im1b1==-4,im2b1,im1b1)" & Chr$(34) '"if(im1b1<im2b1,im2b1,im1b1)" & Chr$(34)
557 cmd = cmd &  " -out " & Chr$(34) & URL_tif_out & Chr$(34)
558 Print #FileNo, cmd 'Ecriture de la ligne de commande
559 Close #FileNo'fermeture du fichier
560 Shell (ConvertToURL(URL_otbcli_bm),0)
```

Ce tableau liste les recouvrements par bloc. Chaque bloc commence par le nombre de tuiles dans le recouvrement, suivi de la liste des tuiles. Pour le premier bloc par exemple, le recouvrement regroupe 2 tuiles (A19). Le nom des tuiles est contenu dans les cellules A20 et A 21. Les colonnes B à

E ne sont pas renseignées pour cette macro. La colonne F indique la distance entre la date d'acquisition de l'image et la date optimale de feuillaison retenue (le 09 juillet). Les tuiles sont classées par distance croissante à cette date. Lors de la recomposition des tuiles, les pixels issus d'images dont la date d'acquisition est la plus proche du 09 juillet seront prioritaires par rapport aux autres.

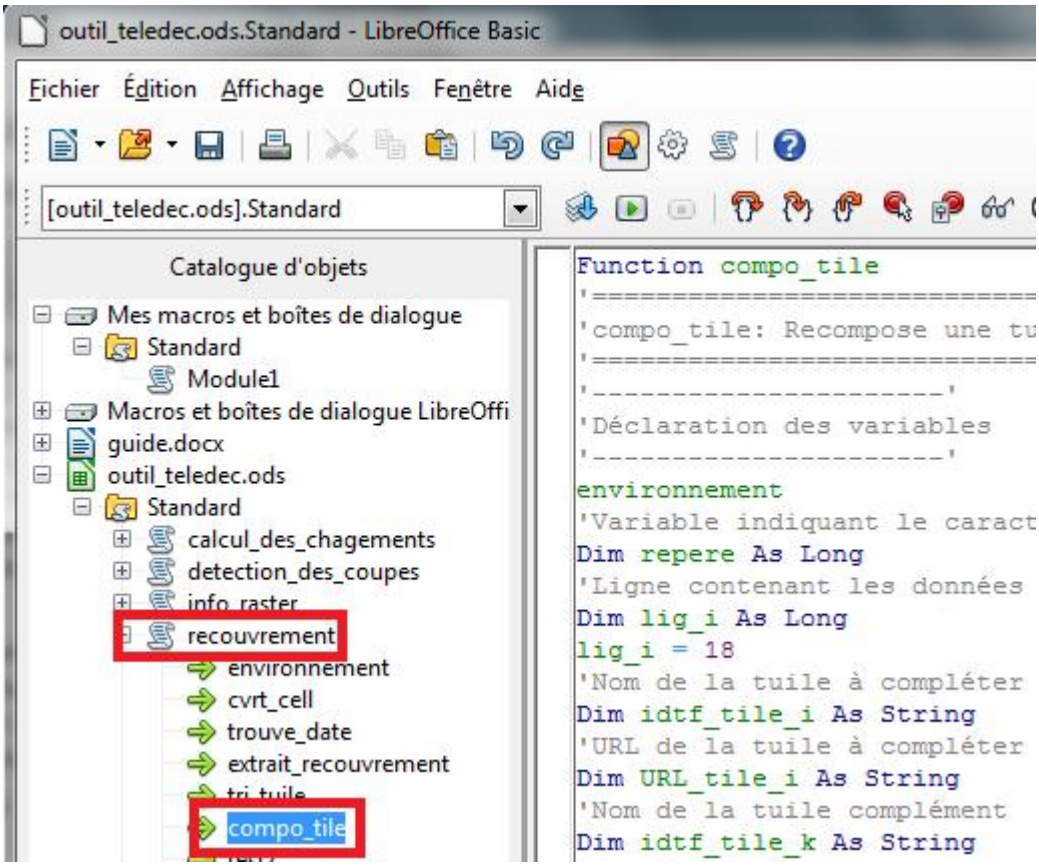
Recomposition des tuiles

Temps d'exécution : 6 heures pour 50 Go

La recomposition des tuiles superposées est une étape laborieuse, il est primordial de laisser l'ordinateur exécuter le programme sans interruption. Créez une copie du dossier « NDVI » par précaution, l'informatique est source de résultats surprenant et une mauvaise manipulation lors de cette étape vous obligerait à réitérer l'étape de calcul de NDVI.

Toujours dans le module « recouvrement », rendez-vous au niveau de la macro « compo_tile ».

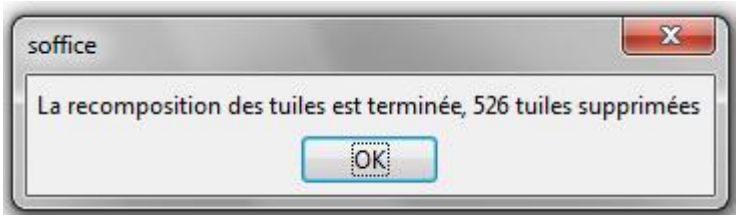
Figure 54: Sélection de la macro "compo_tile"



Et puisque vous êtes quelqu'un de perspicace, vous devez vous douter qu'il faut activer la fonction à l'aide de l'icône « Exécuter le BASIC ». Celle-là même que vous utilisez souvent avec la crainte de voir votre ordinateur exploser après chaque clic.

Il s'agit d'une étape longue du traitement. N'hésitez à prendre votre pause café puis à vous plonger dans un dossier compliqué qui vous mobilisera pendant au moins 7 heures de sorte à rentabiliser le temps de fonctionnement du script.. A la fin du traitement, la fonction vous informe d'u nombre de tuiles supprimées.

Figure 55: Fin d'exécution de la macro "compo_tile"



Vérifiez que le nombre de tuiles dans le dossier NDVI est au plus égal au nombre de tuiles composant le masque forêt (516 tuiles en 2014). Vérifiez la qualité du résultat sur Qgis, comme pour le calcul de NDVI. Regardez attentivement le nom des tuiles. A l'issue de la recomposition, elles seront renommées. Leur nom final correspond aux coordonnées d'emprises uniquement, alors qu'initialement, elles étaient précédées de l'identifiant du raster duquel elles étaient issues. La nouvelle nomenclature permet d'appareiller les tuiles par nom lors du calcul de la différence de NDVI.

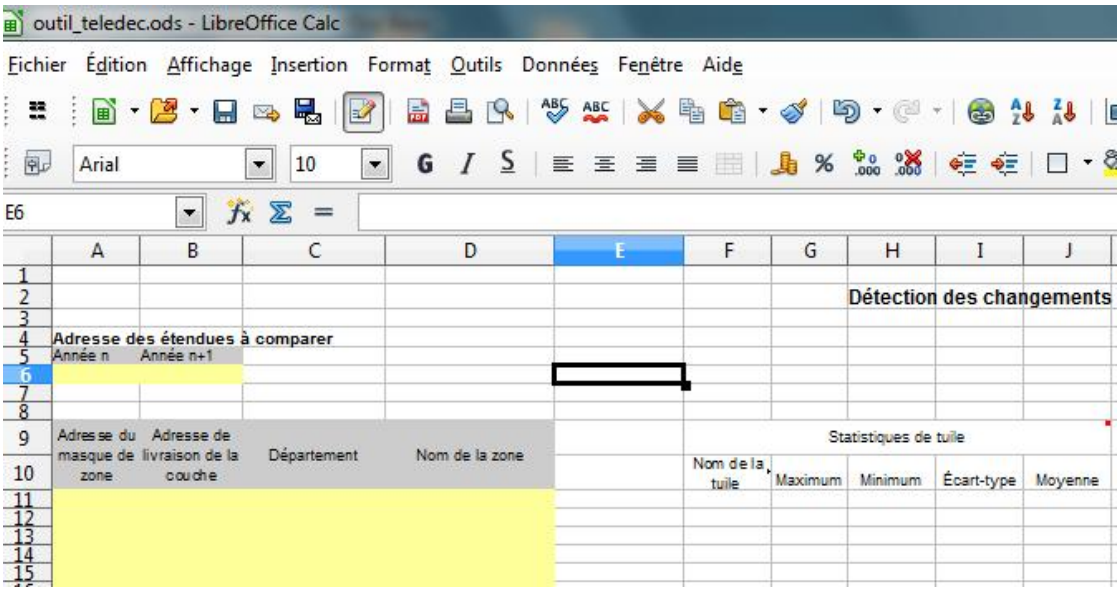
4.5 Cinquième étape : calcul de la différence de NDVI

Temps d'exécution : 4 heures pour 10 Go

La macro calculant la différence de NDVI entre deux années est «dndvi ».

Avant d'activer cette macro, vous devez renseigner les adresses des dossiers qui seront utilisés. Rendez-vous sur la feuille « changement ». Remarquez la présence de cellules teintées de jaunes. Vous devrez les remplir pour assurer le bon fonctionnement du script.

Figure 56: Feuille "changement"



Dans la cellule A6, inscrivez l'adresse du dossier contenant les tuiles de NDVI pour l'année n. Faîtes de même pour le dossier contenant les tuiles de NDVI de l'année n+1 dans la cellule B6. Les autres cellules seront complétées plus tard. Vous pouvez maintenant activer la fonction dndvi. La fin du fonctionnement de la macro est signalée par une boîte de dialogue.
Vérifiez à l'aide de Qgis la qualité des tuiles. Soyez patient, l'affichage est laborieux ! Si les tuiles ne présentent pas de problème particulier, vous pouvez continuer.

Figure 57: Fin d'exécution de la macro

4.6 Sixième étape : la détection des coupes

La détection des coupes est l'étape finale du traitement. Avant de vous y atteler, assurez-vous d'avoir préparé les masques tuilés des zones que vous souhaitez traiter. Il peut s'agir par exemple d'un masque qui délimite un département ou un massif forestier.
Reprenez la feuille « changement », la plage constituée de cellules teintées de jaunes située à partir de la ligne 11 permet de stocker les adresses des zones que vous souhaitez traiter. Chaque ligne de cette plage doit correspondre à une zone à traiter. Dans la colonne « Adresse du masque de zone », vous devez renseigner l'adresse du dossier qui contient le masque tuilé des zones que vous souhaitez étudier. Dans la colonne « Adresse de livraison de la couche » indiquez l'adresse du dossier dans lequel vous souhaitez créer les couches de résultats. Inscrivez en colonne « Département» le département concerné par la zone et finalement le nom de la zone dans la colonne « Nom de la zone ». Veillez à ce que le nom de la zone ne comporte aucun caractère spécial.
Pour chaque zone, le script va créer une couche de résultat avec deux seuils de détection. La moyenne (mo) et l'écart-type (ec) de chaque tuile sont calculés. A partir de ces valeurs, deux seuils sont calculés, le premier pour des valeurs de NDVI inférieures à (mo – 2 *x* ec) le second pour des valeurs de NDVI inférieures à (mo – 3 *x* ec). Les fichiers seront désignés respectivement par les expressions « seuil 2 » et « seuil 3 ». C'est pourquoi vous trouverez dans le dossier de livraison plusieurs sous-dossiers correspond aux différentes valeurs de seuil. Lorsque vous aurez rempli le tableau, positionnez-vous sur la macro « traiter_zone » du module « detection_des_coupes ».
Activez maintenant la fonction pour procéder au traitement des zones. Pour une zone de la taille d'un département, comptez environ une demi-heure d'attente. A l'issue du traitement, une boîte de dialogue s'affichera.

Figure 58: Fin d'exécution de la macro "traiter_zone"

Vous pouvez maintenant comparer les fichiers shapefile pour les différents seuils de détection utilisés en vous appuyant sur les images sources.

4.7 Validation des résultats.

Pour valider les couches vectorielles obtenues, vous devez procéder à leur vérification, soit par enquête sur le terrain, soit par photo-interprétation.

Le script a généré trois fichiers shapefile. Chacun correspond à un seuil de détection de NDVI (voir paragraphe précédent). Chargez ces trois fichiers dans Qgis et ouvrez leur table attributaire. Vous allez créer des champs qui vous permettront de renseigner la validité des polygones.

Pour le fichier créé à partir du seuil (moyenne – 2 écart-types) créez les champs

- référence : qui servira à la photo-interprétation de la couche ;
- omission_3 : qui listera les erreurs d'omission pour le fichier créé à partir du seuil (moyenne – 3 écart-types) ;
- surface_2 : qui contiendra la surface des polygones en hectares.

Pour l'autre fichier, créez les champs commission_3 et surface_3.

Les champs référence, omission_3 et commission_3 doivent être codés par un caractère et être des entiers. Le champ surface en revanche et un réel de précision 5.

Dans l'emplacement réservé à l'expression, inscrivez : $area/10000 pour les champs de surface.

Sélectionnez une centaine de polygone dans la couche du seuil 2.

Pour chaque polygone, vous allez renseigner les données suivantes dans les champs correspondants :

Tableau 17: Signification des valeurs pour les champs de vérification des couches vectorielles

Champs	valeur	signification
référence	1	Coupe
référence	0	Erreur de commission
omission_3	1	Pas d'erreur
omission_3	0	Erreur d'omission
commission_3	1	Coupe
comission_3	0	Erreur de commission

Lorsque les différents polygones sont vérifiés, vous devez construire la matrice de confusion de la couche qui vous permettra de calculer les erreurs d'omission et de confusion en suivant l'exemple suivant.

Pour le principe, les numéros 1 à 5 correspondent à des polygones choisis pour la comparaison (en pratique, pour valider la méthode, vous utiliserez 100 points de contrôle à partir du seuil 2). La colonne « Télédétection » correspond à la couche vectorielle générée par télédétection, alors que la colonne « Référence » correspond à sa vérification. Dans la colonne « Télédétection », le chiffre 1 indique que le polygone est détecté en coupe alors que le 0 correspond à une absence de coupe, de même pour la colonne Référence.

Tableau 18: Vérification de la couche vectorielle

Identifiant	Référence	Omission	Commission
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	0 (erreur de commission)
4	1	1	0 (erreur de commission)
5	1	1	1
6	1	0 (omission)	x
7	1	0(omission)	x
8	1	0 (omission)	x

Une matrice de confusion est alors élaborée à partir du tableau précédent, elle permet d'estimer l'erreur de commission, soit le pourcentage de fausses coupes identifiées par télédétection, ainsi que l'erreur d'omission, à savoir le pourcentage de coupes non identifiées par télédétection:

Tableau 19: Matrice de confusion du fichier vecteur

		Télédétection				
		0	1	Total	Précision producteur	
Référence	0	x	2 (b)	2	x	50 %
	1	3 (a)	3 (c)	3	Erreur d'omission	
	Total	0	5	5	x	50 %
Précision utilisateur		x	60 %			
Erreur de commission		x	40 %		Précision globale	30 %

Les dénominations suivantes seront utilisées pour plus de clarté :

- a = Nombre de coupes non-répertoriées par télédétection qui existent en réalité;
- b = Nombre de coupes répertoriées par télédétection qui n'existent pas en réalité (2) ;
- c = Nombre de coupes répertoriées par télédétection qui existent en réalité (3).

La précision utilisateur correspond à la valeur de b rapporté au nombre total de coupes répertoriées par télédétection (5).
L'erreur de commission correspond au pourcentage de coupes enregistrées par télédétection qui n'en sont pas en réalité (= 1 – précision utilisateur).
La précision producteur correspond à la valeur de c rapportée au nombre total de coupes.
L'erreur d'omission correspond au pourcentage de coupe non-répertoriées par télédétection par rapport à l'existant.
La précision globale est égale à la précision producteur (% des coupes réelles détectées par la méthode) multipliée par la précision utilisateur (% de coupes identifiées par la méthode correspondant effectivement à une coupe réelle). Dans l'exemple, la précision globale est de 30 %.

4.8 Construction du masque forêt tuilé

Le masque forêt de la région est construit à partir de la couche shapefile de la base de données forêt version 2 de l'IGN. Ouvrez Qgis et importez pour chaque département la bd-forêt version 2 au format « .shp ».
Vous allez effectuer les étapes suivantes pour chaque couche départementale.

Conversion vecteur à raster

Ouvrez la table attributaire de la couche vectorielle : clic-droit sur le nom de la couche et sélectionnez « Ouvrir la table d'attributs ».

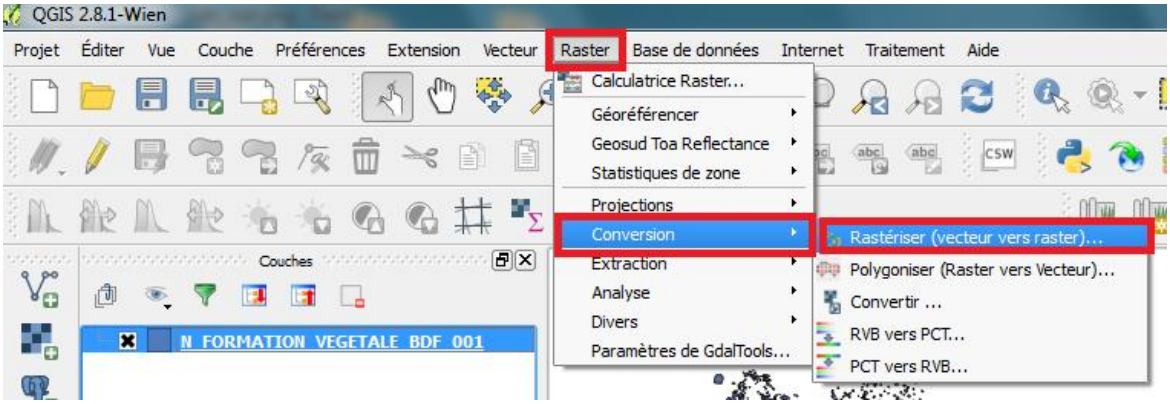
Activer le mode édition en cliquant sur :

Supprimez les entités représentant les landes et les formations herbacées.

Ouvrez-ensuite la calculatrice de champs :

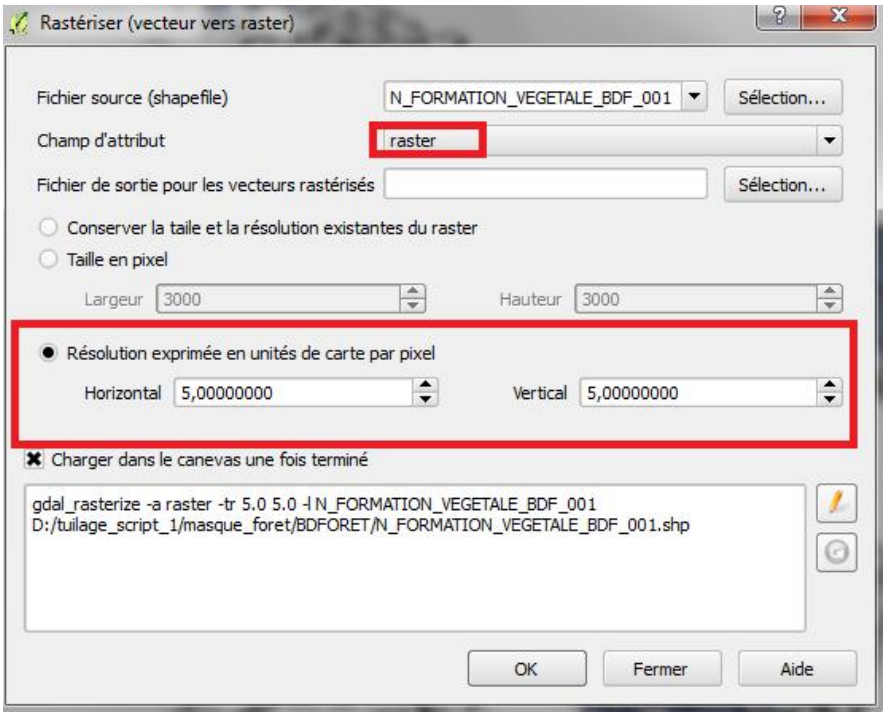
Nommez le nouveau champ « raster », en tant que nombre entier d'une longueur de 1. Aucune entité ne doit être sélectionnée.
Tapez 1 dans le champ « Expression » puis cliquez sur « OK »
Fermez la table attributaire, n'oubliez pas d'enregistrer votre travail. Cliquez-ensuite sur l'icône « raster » de la barre d'outil, choisissez le sous-menu « Conversion » puis « Rastériser ».

Figure 59: Sélection de la fonction rasterize de Gdal



Sélectionner la couche vectorielle sur laquelle vous travaillez, puis le champ « raster ». Faîtes attention, l'image en sortie doit être composée de pixels de 5m *x* 5m. Cochez l'option « Résolution exprimée en unité de carte par pixel ». Puis indiquez une valeur de 5 m pour les deux axes.
Créez un dossier qui contiendra les rasters du masque forêt pour tous les départements puis complétez l'adresse de création du fichier.

Figure 60: Paramétrage de la fonction rasterize de Gdal



Répétez l'opération pour tous les départements. Veillez à regrouper les rasters dans un même dossier.

Lorsque l'ensemble de la région est traitée, procédez au tuilage des images, puis à la gestion des recouvrements et recomposition des images. Attention, lors de la recomposition des images, vous devez modifier un paramètre du script. En effet, l'absence de donnée sur un pixel est codé par la valeur « -4 ». La fusion des tuiles est donc réalisée à partir des pixels contenant cette valeur. Les masques en revanche sont codés en 0 ou 1. Positionnez vous sur la ligne 556 de la macro « merge_tile ». Remplacez la valeur « -4 » par « 0 ». *N'oubliez pas de modifier « 0 » par « -4» à la fin du traitement.*

Lorsque ces traitements sont effectués, vérifiez la qualité des tuiles en les affichant sur Qgis.

Dans le cas de la construction d'un masque de limite administrative d'un département ou d'un massif forestier, l'étape de recomposition n'est pas nécessaire.