

Pour mieux
affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



DÉTECTION ET CARTOGRAPHIE DES COUPES RASES PAR TÉLÉDÉTECTION SATELLITAIRE

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

UMR TETIS

IRSTEA

K. Ose, M. Deshayes



Janvier 2015

DÉTECTION ET CARTOGRAPHIE DES COUPES RASES PAR TÉLÉDÉTECTION SATELLITAIRE

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

VERSION 5.0

UMR TETIS

IRSTEA

K. Ose¹, M. Deshayes¹

¹ UMR TETIS - IRSTEA



Vous êtes autorisé à :

Partager – copier, distribuer et communiquer le matériel par tous les moyens et sous tous les formats.

Selon les conditions suivantes :



Attribution – Vous devez attribuer l'œuvre de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre ou le titulaire des droits (*K. Ose, M. Deshayes – Irstea, 2015*).



Pas d'Utilisation Commerciale – Le titulaire des droits autorise autrui à reproduire, distribuer et communiquer l'œuvre au public. En échange, les utilisateurs des œuvres n'ont pas le droit d'utiliser cette création à des fins commerciales - à moins qu'ils n'obtiennent l'autorisation du titulaire.



Pas d'œuvres dérivées – Le titulaire des droits autorise autrui à reproduire, distribuer et communiquer uniquement des copies non modifiées de l'œuvre - et non pas des œuvres dérivées fondées sur l'œuvre.

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières	1
1 Contexte.....	3
1.1 Spécifications techniques	3
1.2 Mutualisation de l'imagerie satellitaire.....	3
1.2.1 Equipex GeoSud.....	3
1.2.2 Pôle Theia.....	4
1.2.3 GMES et composante spatiale.....	5
1.2.4 Couvertures satellitaires disponibles.....	5
2 Méthode de détection des coupes rases – éléments théoriques	7
2.1 Prétraitements des données satellitaires	7
2.1.1 Prétraitements géométriques	8
2.1.2 Prétraitements radiométriques.....	8
2.1.3 Normalisation relative inter-images (facultatif).....	11
2.2 Détection des changements et extraction des coupes rases	12
2.2.1 Détection des changements par différence des NDVI	12
2.2.2 Application de masques	13
2.2.3 Classification des coupes rases.....	14
2.3 Export en mode vectoriel	14
2.3.1 Post-traitements.....	14
2.3.2 Vecteur et attributs	14
2.3.3 Superposition des vecteurs (facultatif).....	15
2.4 Evaluation statistique	15
2.5 Limites de la méthode	16
3 Transposition de la méthode sous QGis.....	17
3.1 Pré-requis	17
3.1.1 Savoir-faire et formations	17
3.1.2 Matériels et logiciels	18
3.1.3 Données en entrée	18
3.2 Présentation du logiciel QGis.....	19
3.2.1 Un logiciel libre.....	19
3.2.2 Installation de QGis	19
3.2.3 Configuration de QGis	19
3.3 Description de la chaîne de traitements.....	20
3.4 Étape 1 : Détection des changements	21
3.4.1 Conversion des données satellitaires en réflectance TOA.....	21
3.4.2 Egalisation radiométrique : méthode des invariants (facultatif).....	28
3.4.3 Calcul des NDVI et image de changements	33
3.5 Étapes 2 & 3 : Préparation et intégration des masques	35
3.5.1 Création et fusion des masques.....	35
3.5.2 Intégration du masque final.....	39
3.6 Étape 4 : Détection des coupes rases	41
3.6.1 Seuillage unique	41
3.6.2 Discrétisation des coupes rases détectées.....	42
3.6.3 Filtrage	43
3.7 Étape 5 : Conversion vectorielle	45
3.7.1 Export vectoriel	45
3.7.2 Mise à jour de la table attributaire	46
3.8 Étape 6 : Superposition des couches vectorielles (facultatif).....	48
3.8.1 Fusion des vecteurs	48
3.8.2 Mise à jour des degrés de certitude sur les zones de recouvrement	49
3.9 Étape 7 : Évaluation de la qualité sémantique	51
3.9.1 Création d'une référence par photo-interprétation.....	51
3.9.2 Construction de la matrice de confusion	54

4	figures et tableaux	56
4.1	Figures	56
4.2	Tableaux	56
5	Annexes	i
5.1	Glossaire des termes techniques.....	i
5.2	Manipulations complémentaires sous QGis.....	iii
5.2.1	<i>Gestion du contraste des images</i>	iii
5.2.2	<i>Compositions colorées</i>	v
5.2.3	<i>Compression des images</i>	vi
5.3	Présentation Tetis au COPII du 23 avril 2012.....	viii

1 CONTEXTE

1.1 SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

Ce guide méthodologique fait suite à une demande du MAAF et des DRAAF Rhône-Alpes et Bourgogne dans laquelle l'UMR TETIS proposait de définir et mettre en œuvre une méthodologie de détection des coupes rases sur deux sylvo-écorégions IFN (G23 : Morvan et Autunois ; G41 : Bordure Nord-Est du Massif Central-Beaujolais) à partir d'imagerie satellitaire optique haute résolution, entre 2005 et 2012.

La méthode est formalisée de manière à répondre aux besoins forestiers exprimés par les services du MAAF, à savoir :

Contenu thématique	Détection des coupes rases entre deux années successives
Précision géographique	Surface minimale de détection de 1 Hectare avec une précision planimétrique de 5 à 10 mètres
Précision thématique	Taux d'omission (coupe non détectée) et de commission (fausse détection) de 10% en surface
Système de projection	Lambert 93

1.2 MUTUALISATION DE L'IMAGERIE SATELLITAIRE

Cette étude diachronique s'inscrit dans un contexte de mutualisation des données à référence spatiale, notamment l'imagerie satellitaire, au niveau national et européen. Il s'agit des initiatives portées par l'Equipex Geosud, le pôle Theia (CNES), l'Agence spatiale européenne (ESA) et le programme GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*).

1.2.1 EQUIPEX GEOSUD



Le projet d'Equipex Geosud « Infrastructure d'Information Spatiale sur les Territoires et l'Environnement » a pour objectifs d'assurer :

- L'accès pérenne à l'information spatiale sur les écosystèmes et les territoires par l'acquisition annuelle d'une information satellitaire complète et multi-capteurs du territoire national et sa mise à la disposition gratuite de la communauté scientifique et de la communauté des acteurs de la gestion de l'environnement et des territoires,
- La mise à disposition de capacités de calcul et d'administration de données adaptées à l'exploitation de cette information spatiale (en traitement d'image et en analyse spatiale) ainsi que l'offre de formation correspondante,
- L'appui aux recherches amont sur les méthodes et algorithmes de traitement de l'information spatiale (traitement d'image, couplage de données multi-source image et in situ, exploitation de séries temporelles, fouille de données image, spatialisation de modèles, traitement en ligne, analyse spatiale...),
- L'appui aux recherches thématiques sur la structure, le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes et des territoires et sur l'élaboration de stratégies de gestion et de suivi adaptées aux politiques publiques,

- L'interaction et le partage d'expérience entre la communauté scientifique et la communauté des acteurs publics (État et collectivités territoriales) de la gestion de l'environnement et des territoires.

Le projet s'inscrit à l'interface entre le domaine « Environnement et Société » et le domaine « Sciences et Techniques de l'Information et de la Communication » et vise à combler par une stratégie active le fossé actuel constaté entre le fort développement des technologies amont d'observation satellitaire de la Terre et leur relativement faible utilisation tant par la communauté scientifique que par les acteurs de la gestion de l'environnement et des territoires.

La structure de l'équipement d'excellence s'articule en 3 composantes :

- L'acquisition de données satellitaires pour le suivi du territoire national et de zones d'intérêt à définir, par réception directe (antenne de réception GeoSud) ou acquisition indirecte auprès de fournisseurs. Elle inclut l'acquisition annuelle d'une couverture d'été du territoire national à haute résolution spatiale (5-20m) permettant de caractériser finement les différents milieux constitutifs d'un territoire, les pressions anthropiques sur les écosystèmes et spatialiser les modèles environnementaux et territoriaux.
- Une infrastructure d'administration et diffusion de l'imagerie satellitaire (accès gratuit aux acteurs de la communauté scientifique et aux acteurs publics de la gestion sur le portail Web : <http://equipex-geosud.fr/>), des capacités de calcul scientifique spécialisé pour le traitement de l'information spatiale (notamment son traitement à distance) et un dispositif de formation.
- Un dispositif de soutien aux recherches méthodologiques sur le traitement de l'information spatiale et aux recherches thématiques dans les différents domaines liés à l'environnement et aux territoires.

Au-delà de l'innovation scientifique dans les approches des sciences de l'environnement et des territoires, un enjeu très fort du projet réside dans la mise en réseau des équipes de recherche et des acteurs publics de la gestion et dans l'animation du partage d'expérience autour d'une source d'information pleinement mutualisée et accessible à tous.

1.2.2 PÔLE THEIA



Le Pôle Thématique Surfaces Continentales THEIA (<http://www.theia-land.fr/>) est une structure nationale inter-organismes² ayant pour vocation de faciliter l'usage des images issues de l'observation des surfaces continentales depuis l'espace. À cette fin THEIA met à disposition de la communauté scientifique nationale et internationale, et des politiques publiques de suivi et de gestion des ressources environnementales, une vaste panoplie d'images à différentes échelles, des méthodes et des services liés à l'observation depuis l'espace des surfaces continentales.

Son objectif est de faciliter la mesure de l'impact des pressions anthropiques et du climat sur les écosystèmes et les territoires, observer, quantifier et modéliser les cycles de l'eau et du carbone, de suivre les évolutions des sociétés et de leurs activités, notamment de leurs pratiques urbaines, agricoles et forestières, et de comprendre les dynamiques de la biodiversité.

Les produits et services offerts par THEIA, de qualité contrôlée, couvrent de larges territoires et de longues périodes : couvertures satellitaires annuelles du territoire national, séries temporelles de réflectance de surface à haute ou très haute résolution, séries temporelles de produits bio-géophysiques à l'échelle globale

² CEA, Cirad, CNES, IGN, INRA, CNRS, IRD, Irstea, Météo France.

(biomasse, hauteurs d'eau, humidité de surface, etc.), outils d'aide à la visualisation et au traitement des données, méthodes et algorithmes de traitement et des procédures de validation.

THEIA se développe en capitalisant sur des projets en cours de réalisation, en voie d'achèvement, ou terminés. Même si ces différents projets se déroulent dans des cadres de partenariat et de temps assez différents, ils ont en commun de correspondre à des attentes exprimées de longue date par la communauté scientifique nationale. Leurs produits sont distribués dans un cadre unifié au travers du portail de THEIA.

Les projets fondateurs de THEIA sont l'Equipex Geosud, le Géoportail et Muscate. En outre, THEIA a vocation à fédérer l'ensemble des initiatives présentes et passées ayant un caractère national et visant les acteurs publics nationaux au sens large.

1.2.3 GMES ET COMPOSANTE SPATIALE



Le programme européen de surveillance de la Terre Copernicus (ou *Global Monitoring for Environment and Security – GMES*) est une initiative conjointe de l'Agence spatiale européenne (ESA) et de l'Union européenne qui vise à doter l'Europe d'une capacité opérationnelle et autonome d'Observation de la Terre (OT). L'objectif est de rationaliser l'utilisation des données relatives à l'environnement et à la sécurité issues de sources multiples, afin de disposer d'informations et de services fiables. En d'autres termes, GMES permettra de rassembler l'ensemble des données obtenues à partir de missions satellitaires, dont celles de l'ESA, et d'instruments de mesure in situ et ce, afin de surveiller l'état de notre planète.

Le GMES regroupe trois composantes :

- La composante spatiale,
- La composante in-situ,
- La composante des services à l'utilisateur.

Le GMES est articulé autour de trois niveaux de fonctions : l'acquisition et la mise à disposition des mesures spatiales et in situ, le traitement « générique » et la diffusion d'informations et de services de base pour les différentes thématiques traitées (*Core Service*) ainsi que des traitements à la demande dits services « Aval » (*Downstream Service*).

En parallèle, l'ESA conduit la mission d'imagerie optique Sentinel-2 comprenant un couple de satellites qui délivrera une couverture systématique de toutes les terres avec une répétitivité de 5 jours minimum. Sentinel-2 offre un fauchée de 290km avec une résolution spatiale comprise entre 10 et 60m en fonction des bandes spectrales, et embarque treize instruments à canal optique (du proche infrarouge-visible à l'infrarouge-ondes courtes). Le premier satellite devrait être lancé à l'horizon 2015. Ces données bénéficieront aux institutions nationales et européennes chargées, par exemple, de l'aménagement du territoire, de l'agriculture et de la sylviculture. À ce jour, les modalités de diffusion de ces images ne sont pas clairement définies.

1.2.4 COUVERTURES SATELLITAIRES DISPONIBLES

Le projet Geosud, le Pôle Theia et la composante spatiale du GMES permettent d'accéder aujourd'hui à plusieurs couvertures satellitaires multispectrales, à moyenne et haute résolution spatiale. Bien que les licences d'exploitation soient quelque peu différentes, l'ensemble de ces données ont en commun la possibilité d'être téléchargées et utilisées gratuitement par les institutions publiques françaises. Le Tableau 1 détaille les caractéristiques des couvertures satellitaires existantes, classées par ordre chronologique :

Tableau 1. Couvertures satellitaires mises à disposition par les programmes GMES et GeoSud

Date	Nom	Programme	Capteur
2014	Couverture été 2014	Theia/Geosud	SPOT 6 SPOT 7
2013	Couverture 2013 en réflectance de surface	Theia	Landsat 8
2013	Couverture été 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 2011	GMES/Geosud	RapidEye
2010	Couverture été 2010	Geosud	Rapideye
2009 (± 1 an)	European wall-to-wall coverage 2009 DAP_MG2-3_01	GMES	ALOS IRS-P6 Resourcesat-1 SPOT 4, SPOT 5
2006 (± 1 an)	European coverages of IMAGE2006 DAP_MG2_08	GMES	IRS-P6 Resourcesat-1 SPOT 4, SPOT 5
2005	Couverture été 2005	Geosud	SPOT 5

La méthode de détection des coupes rases, présentée ci-après, est originale car transposable sur différents types d'images satellitaires (cf. Tableau 2) présentant des caractéristiques différentes, notamment en termes de résolutions spatiale et spectrale. Pour ce faire, les bandes spectrales utilisables sont restreintes au nombre de trois : deux bandes dans la partie visible du spectre – le vert, le rouge – et une bande dans le proche infrarouge.

Tableau 2. Caractéristiques des capteurs utilisés

Capteur	Résolution spatiale (m)	Résolution spectrale	Résolution radiométrique
IRS-P6 Resourcesat-1	<i>Panchromatique</i> 5.8 <i>Multispectral</i> 23.5	Vert Rouge Proche infrarouge Moyen infrarouge	7 bits
RapidEye	<i>Multispectral</i> 5	Bleu Vert Rouge Rededge Proche infrarouge	16 bits
SPOT4	<i>Panchromatique</i> 10 <i>Multispectral</i> 20	Vert Rouge Proche infrarouge Moyen infrarouge	8 bits
SPOT5	<i>Panchromatique</i> 5 <i>Multispectral</i> 10	Vert Rouge Proche infrarouge Moyen infrarouge	8 bits
SPOT 6/7	<i>Panchromatique</i> 1.5 <i>Multispectral</i> 6	Bleu Vert Rouge Proche infrarouge	16 bits
Landsat 8	<i>Panchromatique</i> 15 <i>Multispectral</i> 30	Aérosols Bleu Vert Rouge Proche infrarouge Moyen infrarouge 1 Moyen infrarouge 2 Cirrus	16 bits

2 MÉTHODE DE DÉTECTION DES COUPES RASES – ÉLÉMENTS THÉORIQUES

La cartographie des coupes rases repose sur une méthode de détection des changements à partir de deux images satellitaires optiques, acquises en été à une ou plusieurs années d'intervalle (cf. Présentation Tetis au COPIL du 23 avril 2012, p.viii). La procédure d'extraction peut être scindée en deux grandes étapes :

- une phase de prétraitement ou de mise en conformité des données pour assurer la comparabilité en termes de géométrie et de radiométrie,
- une phase de détection et de classification des changements pour aboutir à la cartographie des coupes rases.

La chaîne de traitements est présentée en Figure 1. Les différentes étapes de ces traitements sont ensuite décrites en détail.

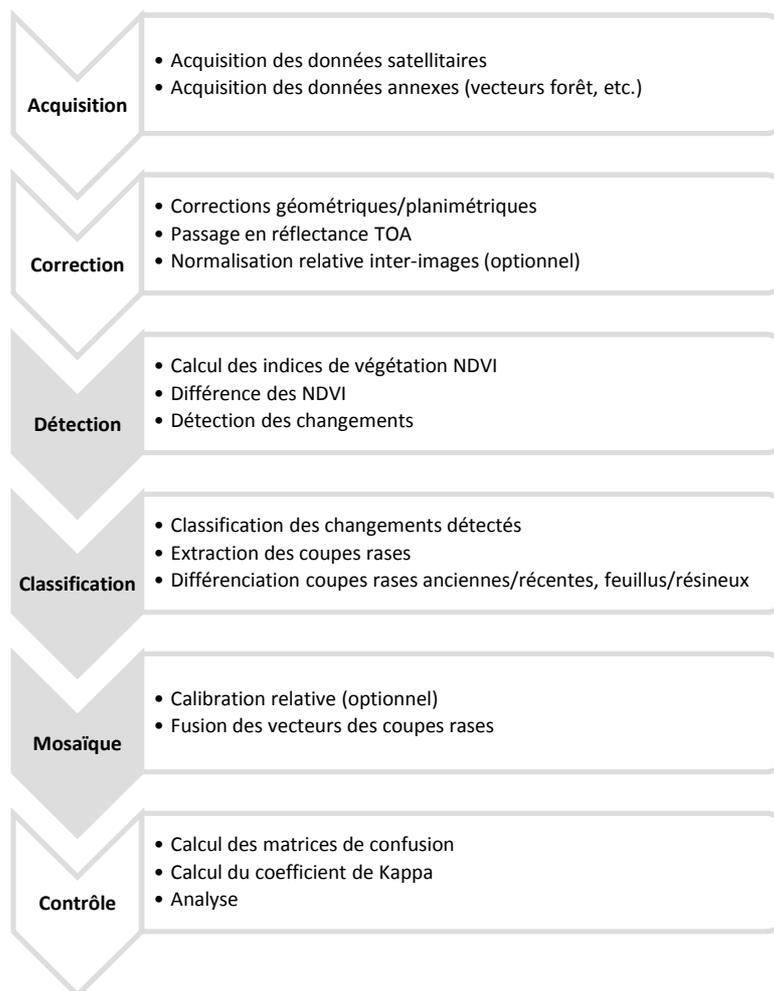


Figure 1. Étapes du processus d'extraction des coupes rases

2.1 PRÉTRAITEMENTS DES DONNÉES SATELLITAIRES

Le prétraitement des données vise à rendre comparable les images satellitaires issues des couvertures multi-capteurs Geosud, Theia et GMES. Il s'agit dans un premier temps d'obtenir des produits géométriquement superposables et restitués dans un référentiel connu, ici la projection Lambert 93 RGF93. La transformation des valeurs de pixels (comptes numériques) en réflectance dite TOA (*Top of Atmosphere*) permet de normaliser les images quant à leur composante liée à la variation de l'éclairement solaire.

2.1.1 PRÉTRAITEMENTS GÉOMÉTRIQUES

Lors de l'acquisition, une image satellitaire subit un certain nombre de déformations géométriques qui peuvent être regroupées en deux catégories :

- Les déformations liées à la « prise de vue » (Figure 2), causées par l'instabilité du satellite (roulis, tangage, lacet), par des aberrations du capteur ou bien encore par l'angle d'acquisition. La connaissance du fonctionnement du capteur et l'utilisation des paramètres de vols permettent de corriger en partie ces erreurs.

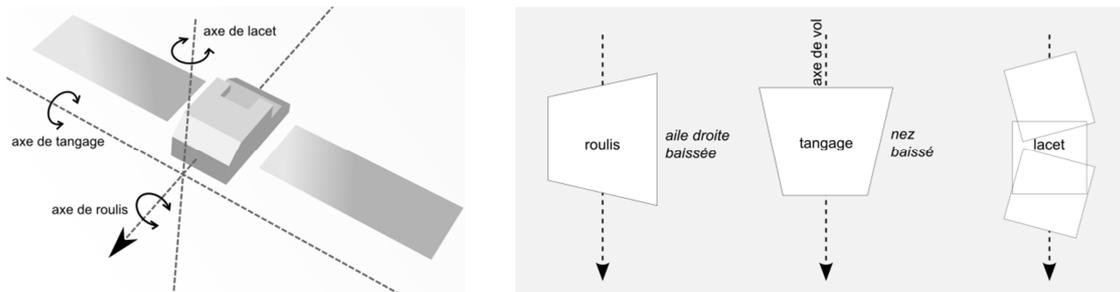
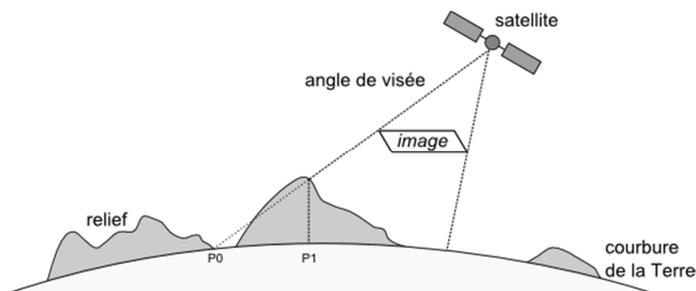


Figure 2. Mouvements du satellite et déformations occasionnées sur les images

- Les déformations liées à la courbure et à la rotation de la Terre ainsi qu'au relief (Figure 3), plus complexes à modéliser.



Le point géodésique P0 correspond à la géolocalisation fournie dans une image « brute ». Le point géodésique P1 est la position réelle de la mesure. L'orthorectification de l'image consiste à corriger cette erreur.

Figure 3. Erreurs géométriques liées au relief et à la courbure terrestre

Pour la plupart des couvertures satellitaires mises à disposition par les programmes GMES, Theia et Geosud, il n'est pas nécessaire d'appliquer des prétraitements géométriques. Excepté la couverture 2005 de Geosud (livrée pour le moment à l'état brut), l'ensemble des données est orthorectifié. Les couvertures GMES requièrent cependant une transformation dans le système de projection Lambert 93.

2.1.2 PRÉTRAITEMENTS RADIOMÉTRIQUES

Les prétraitements radiométriques consistent à transformer les comptes numériques (CN) – codés entre 8 (256 valeurs) et 16 bits (65536 valeurs) selon les images – en valeurs de réflectance (%). Dans cette méthode, seule la réflectance exo-atmosphérique (*Top of Atmosphere* [TOA] en anglais) est décrite.

Cette étape tient compte de plusieurs paramètres de calibration associés au capteur et à la date d'acquisition (l'éclairement solaire n'étant pas le même selon la saison), notamment :

1. les coefficients de calibration absolue de gain et d'offset,
2. l'angle zénithal solaire,
3. l'irradiance solaire.

2.1.2.1 CALIBRATION EN LUMINANCE

Afin d'obtenir des mesures physiques indépendantes des caractéristiques du radiomètre imageur, les comptes numériques sont d'abord convertis en luminance. Par exemple,

- pour les satellites SPOT, la luminance L_{TOA}^k ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$) est associée au compte numérique X^k par la relation (1) suivante :

$$L_{TOA}^k = \frac{X^k}{A^k} + B^k \quad (1)$$

où A^k est le coefficient de calibration absolue (gain) pour la bande k ; B^k le biais de calibration absolue. Ces informations sont fournies dans la métadonnée DIMAP de l'image SPOT.

- Pour les satellites RapidEye, la luminance L_{TOA}^k ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$) est associée au compte numérique X^k par la relation (2) suivante :

$$L_{TOA}^k = X^k \cdot C^k \quad (2)$$

où C^k est le facteur de correction radiométrique pour la bande k , quasi égal à 0,01. Ces informations sont fournies dans la métadonnée de l'image RapidEye.

- Pour le satellite IRS-P6, la luminance L_{TOA}^k ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$) est associée au compte numérique X^k par la relation (3) suivante :

$$L_{TOA}^k = \frac{X^k}{X_{max}^k} \cdot (L_{max} - L_{min}) + L_{min} \quad (3)$$

où X_{max}^k est la valeur maximale de la bande k (255 pour les produits corrigés LISS-3 et LISS-4), L_{max} et L_{min} sont les valeurs de luminance maximum et minimum de la bande k , et correspondent respectivement au biais et au gain. Ces informations sont fournies dans la métadonnée de l'image IRS.

- Pour le satellite Landsat 8, la luminance L_{TOA}^k ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$) est associée au compte numérique X^k par la relation (4) suivante :

$$L_{TOA}^k = M_L^k \cdot X^k + A_L^k \quad (4)$$

où M_L^k est le facteur multiplicatif pour la bande k ; A_L^k le facteur additif pour la bande k . Ces informations sont fournies dans la métadonnée MTL de l'image Landsat.

2.1.2.2 CALIBRATION EN RÉFLECTANCE TOA

La luminance L_{TOA}^k est ensuite normalisée par rapport au flux solaire incident exo-atmosphérique afin d'obtenir la réflectance TOA ρ_{TOA}^k (comprise entre 0 et 1), calculée comme suit :

$$\rho_{TOA}^k = \frac{\pi \cdot L_{TOA}^k \cdot d^2}{eSun_s^k \cdot \cos \theta_s} \quad (5)$$

où d est la distance moyenne entre la Terre et le Soleil en unité astronomique (UA), $eSun_s^k$ l'irradiance solaire exo-atmosphérique moyenne (ou luminance équivalente solaire), θ_s l'angle zénithal solaire. Les deux derniers paramètres sont donnés dans les métadonnées des images.

La distance moyenne entre la Terre et le Soleil est calculée à l'aide de l'équation suivante, avec x dans $\cos(x)$ en degrés :

$$d = 1 - 0,01674 \cdot \cos\left(0,9856 \cdot (JD - 4) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \quad (6)$$

où JD représente le Jour Julien (nombre de jours écoulés depuis le 1^{er} janvier de l'année étudiée).

Une approximation de la distance peut être retrouvée dans le Tableau 3 présenté ci-dessous:

Tableau 3. Distance Terre-Soleil (UA) en fonction du jour Julien.

JD	d	JD	d	JD	d	JD	d	JD	d
1	0,9833	80	0,9956	160	1,0150	240	1,0102	320	0,9889
10	0,9833	90	0,9985	170	1,0161	250	1,0077	330	0,9869
20	0,9839	100	1,0013	180	1,0166	260	1,0051	340	0,9853
30	0,9849	110	1,0042	190	1,0167	270	1,0023	350	0,9842
40	0,9864	120	1,0069	200	1,0163	280	0,9994	360	0,9835
50	0,9882	130	1,0094	210	1,0154	290	0,9966	365	0,9833
60	0,9904	140	1,0116	220	1,0141	300	0,9938		
70	0,9929	150	1,0135	230	1,0123	310	0,9912		

N.B. Pour simplifier la procédure transposée sous QGIS, la distance d peut être considérée comme étant une constante égale à 1 quelle que soit la date d'acquisition.

Pour Landsat 8, l'irradiance solaire exo-atmosphérique n'est pas nécessaire. L'instrument OLI du satellite se base sur deux méthodes de calibration en luminance et réflectance développées par le NIST (*National Institute of Standards and Technology*). Par conséquent, l'expression du passage en réflectance TOA ρ_{TOA}^k diffère légèrement :

$$\rho_{TOA}^k = \frac{M_p^k \cdot X^k + A_p^k}{\cos \theta_s} \quad (7)$$

Où M_p^k est le facteur multiplicatif pour la bande k , A_p^k le facteur additif pour la bande k et θ_s l'angle zénithal solaire. Les trois paramètres sont donnés dans les métadonnées des images.

2.1.2.3 PERSPECTIVES THEIA ET MUSCATE

Les prétraitements radiométriques présentés ici ne seront bientôt plus nécessaires, du moins pour certains jeux de données satellitaires. En effet, au sein de Theia, le CNES met en place, avec le concours du laboratoire Cesbio, un atelier de production **MULTI Satellite**, multi-**CA**pteurs, pour des données multi-**TE**mportelles (Muscate). Cet atelier a pour but de proposer aux utilisateurs des produits prêts à l'emploi issus de séries temporelles d'images acquises sur de grands territoires. Les laboratoires de recherche et les institutions publiques françaises bénéficieront ainsi de données corrigées et distribuées, dans la mesure du possible, gratuitement par l'intermédiaire du portail Theia. L'atelier Muscate existe déjà sous la forme d'un prototype capable de gérer les données des satellites Landsat, SPOT, Formosat-2, Venùs et Sentinel-2, à partir de chaînes développées au CNES pour le traitement géométrique, et au Cesbio pour la détection des nuages et la correction des effets atmosphériques.

En attendant le lancement de la constellation Sentinel-2, fer de lance de cet atelier, Muscate a d'ores et déjà démontré sa capacité opérationnelle en produisant les données issues de l'expérience SPOT 4 (Take 5) d'une part, les images Landsat 8 (<http://spirit.cnes.fr/resto/Landsat>) acquises sur la France entre avril et décembre 2013 d'autre part.

Les produits (cf. Figure 4) fournis par Muscate sont les suivants :

- Niveau 1C : données ortho-rectifiées en réflectance au sommet de l’atmosphère (TOA)
- Niveau 2A : données ortho-rectifiées en réflectance de surface après correction atmosphérique, avec un masque des nuages et de leurs ombres, ainsi qu’un masque des surfaces d’eau et de neige.
- Niveau 3A : synthèses mensuelles ou bimensuelles de réflectances de surface, constituées de la moyenne pondérée des réflectances de surface des pixels non nuageux obtenus au cours de la période. Pour le moment, la chaîne de Niveau 3A n’existe que pour le satellite Venµs.

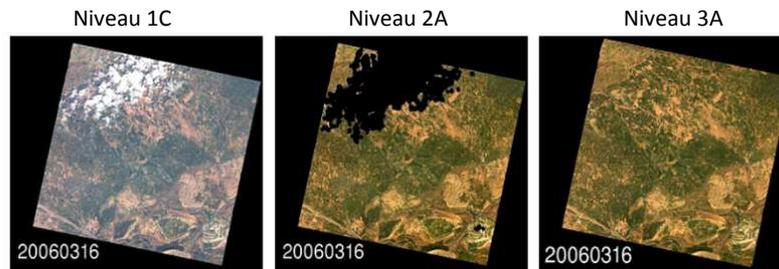


Figure 4. Simulations des produits SPOT4 (Take 5) à partir d’images Formosat-2 (source : Theia)

2.1.3 NORMALISATION RELATIVE INTER-IMAGES (FACULTATIF)

L’objectif de la normalisation radiométrique relative est de réduire les effets de changements atmosphériques entre deux images acquises sur la même zone à une année d’intervalle. Cette étape peut améliorer significativement la détection des coupes rases, en particulier lorsque sont comparées des images issues de différents capteurs. Cette méthode ne nécessite pas de connaissance des paramètres atmosphériques (pression atmosphérique, quantités de gaz, caractéristiques d’aérosols). Son principe est de choisir une image de référence Img_{REF} présentant une couverture nuageuse minimale, un faible pourcentage de pixels saturés, et une large dynamique radiométrique. Ce dernier paramètre traduit une atmosphère relativement « pure », avec peu d’aérosols, et donc une faible diffusion. En conséquence l’atmosphère a peu modifié les contrastes, les pixels clairs (à forte réflectance) ne sont pas assombrés, et les pixels foncés (à faible réflectance) ne sont pas éclaircis. Les autres images (Img_{SRC}) sont normalisées par rapport à cette image de référence en inversant les régressions linéaires calculées pour chaque bande spectrale :

$$\rho_{TOA-Norm}^k = A \cdot \rho_{TOA}^k + B \quad (8)$$

Pour déterminer les paramètres A et B, la méthode des cibles invariantes est ici utilisée. Elle consiste à sélectionner sur les images des zones dont la réflectance est quasi constante dans le temps. Concrètement, l’opérateur digitalise des cibles invariantes (urbain, eau, etc.) sur les parties communes aux deux images Img_{REF} et Img_{SRC} . Il calcule ensuite, pour tous les canaux, la moyenne des valeurs de pixels inclus dans les polygones (statistique zonale). Ces statistiques permettent de construire des nuages de points pour chaque bande spectrale avec, en ordonnées les moyennes de l’image de référence Img_{REF} et en abscisses celles de l’image à égaliser Img_{SRC} . Les équations des droites de régression linéaire sont ainsi déduites (cf. Figure 5).

Bien que le calcul des droites de régression soit requis uniquement pour les bandes spectrales du rouge et du proche infrarouge, il est conseillé de reproduire cette opération sur la bande verte. La correction de ces trois canaux autorise la construction de mosaïques en couleurs RGB.

La normalisation relative inter-images donne des résultats satisfaisants pour corriger une image par rapport à une autre. Au-delà de deux images, cette méthode est déconseillée car elle comporte un risque élevé de propagations des incertitudes, biaisant de fait la détection des coupes rases.

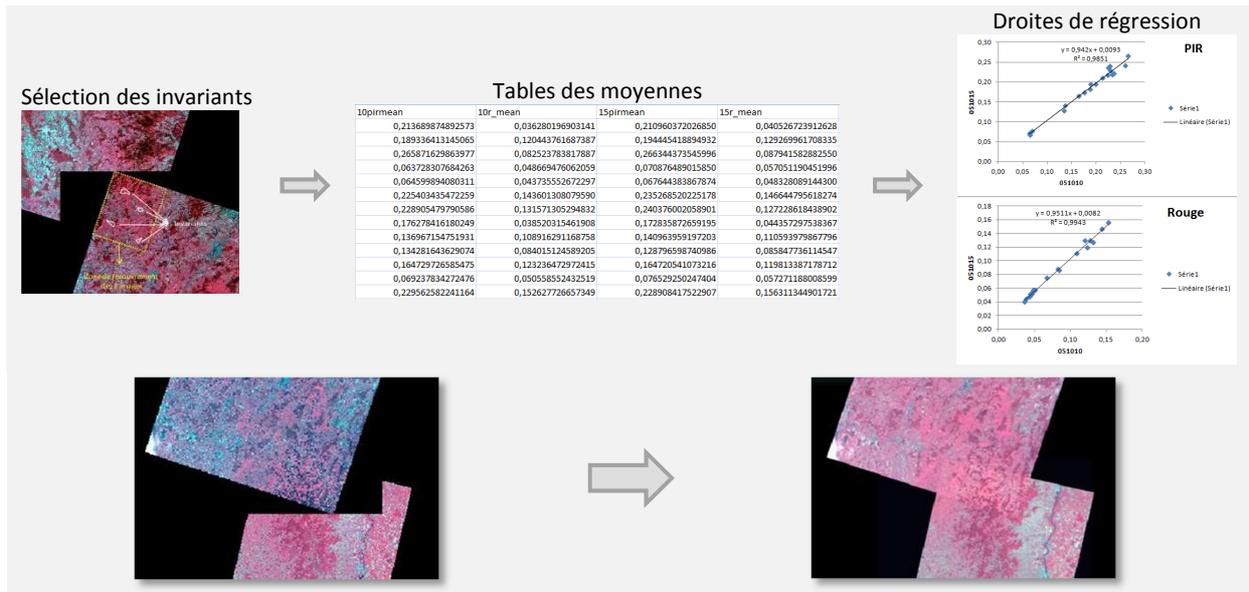


Figure 5. Exemple de normalisation relative

2.2 DÉTECTION DES CHANGEMENTS ET EXTRACTION DES COUPES RASES

Par définition, une coupe rase est une modification de l'occupation du sol. Il s'agit donc de détecter les changements apparus entre deux dates à partir d'images satellitaires, en faisant appel notamment aux indices de végétation, puis de qualifier ces changements afin de ne retenir que les parcelles forestières qui sont passées d'un état boisé à un état sol nu.

2.2.1 DÉTECTION DES CHANGEMENTS PAR DIFFÉRENCE DES NDVI

La détection des changements entre deux années utilise la différence des indices de végétation NDVI. Cette approche a l'avantage de traiter des données normalisées, facilitant de fait les comparaisons dans le temps.

2.2.1.1 INDICE DE VÉGÉTATION NORMALISÉ NDVI

L'indice de végétation normalisé (NDVI) permet d'observer et d'analyser la couverture végétale sur les images de télédétection. Cet indice traduit la signature spectrale très caractéristique de la végétation active (cf. Figure 6). En effet, dans la bande spectrale du visible, et en particulier dans le rouge (0.6 à 0.7µm), la végétation absorbe fortement le rayonnement solaire à cause de la chlorophylle, mais cet effet cesse dans le proche infrarouge (0.7 à 0.9 µm) où, au contraire, la végétation réfléchit fortement. Comme les sols nus ont une courbe de réflectance qui monte légèrement entre le rouge et le proche infrarouge, la distinction entre un sol nu et un sol couvert ne pose généralement aucun problème.

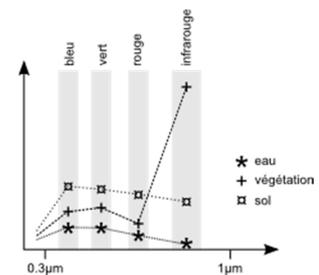


Figure 6. Signatures spectrales de la végétation et du sol

L'équation du NDVI est la suivante:

$$NDVI = \frac{\rho_{TOA}^{PIR} - \rho_{TOA}^{Rouge}}{\rho_{TOA}^{PIR} + \rho_{TOA}^{Rouge}} \quad (9)$$

où ρ_{TOA}^{PIR} est la réflectance de la bande proche infrarouge et ρ_{TOA}^{Rouge} celle de la bande rouge.

Le dénominateur est un facteur de normalisation qui compense partiellement la différence de réflectance de la surface liée à la hauteur du soleil ou aux angles de prise de vue des satellites. Par construction, le NDVI est compris entre -1 et 1.

2.2.1.2 DIFFÉRENCE DES NDVI

La différence Δ_{NDVI} des NDVI calculés pour chacune des deux années traitées, permet de détecter des changements. Ses valeurs sont comprises entre -2 et 2.

$$\Delta_{NDVI} = NDVI_{D2} - NDVI_{D1} \quad (10)$$

où $NDVI_{D1}$ et $NDVI_{D2}$ sont respectivement les indices de végétation des années n et $n+1$.

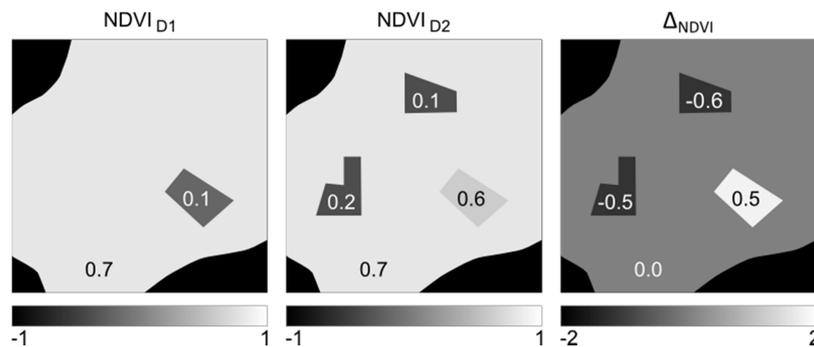


Figure 7. NDVI au dates D1 et D2 et différence des NDVI

La Figure 7 schématise la différence des NDVI :

- à l'année n , la forêt est caractérisée par un NDVI élevé de 0.7, à l'intérieur se trouve une parcelle en sol nu (ancienne coupe rase) avec un NDVI faible (0.1).
- à l'année $n+1$, la parcelle en sol nu est de nouveau végétalisée, son NDVI augmente. Deux parcelles ont subi des coupes rases, elles ont un NDVI égal à 0.1 et 0.2.
- la différence des deux couches NDVI ($NDVI_{D2} - NDVI_{D1}$) permet d'identifier trois types d'évolution :
 - a. Les zones ayant peu ou pas changé ont des valeurs voisines de 0,
 - b. Les zones passées de sol nu à végétation ont des valeurs positives, significativement différentes de 0, avec un maximum de 2,
 - c. Les zones passées de végétation à sol nu ont des valeurs négatives, significativement différentes de 0, avec un minimum de -2.

2.2.2 APPLICATION DE MASQUES

Pour simplifier la détection des coupes rases et minimiser les risques de confusion, il est recommandé d'extraire l'information « utile » dans l'image résultant de la différence des NDVI. Deux masques sont successivement appliqués. Le premier permet de découper la donnée suivant les limites de la zone d'étude (par exemple, une sylvo-écorégion). Le second, issu de la couche « végétation » de la BD Topo® IGN, permet d'extraire les zones boisées. Les pixels situés en dehors de la zone d'étude et des forêts sont alors codés en valeur nulle ou « no data ». À noter que depuis 2014, les services déconcentrés du Ministère de l'Agriculture (DDT et DRAAF) ont accès à la BD Forêt® IGN qui présente l'avantage par rapport à la BD Topo® d'identifier les formations caducifoliées et résineuses.

2.2.3 CLASSIFICATION DES COUPES RASES

Suite au calcul des deux NDVI et de leur différence, il convient d'identifier les changements au moyen de requêtes lancées via une calculatrice raster. Dans cette méthode et par souci de généralité, la distribution des valeurs de pixels du Δ_{NDVI} est supposée suivre une loi normale. En outre la forêt qui n'a pas changé peut cependant voir son NDVI varier légèrement, et son Δ_{NDVI} varie donc dans une plage de plus ou moins un écart-type autour de la moyenne. Les valeurs situées entre le minimum (-2) et la moyenne des valeurs de Δ_{NDVI} moins un écart-type traduisent alors le passage d'un sol boisé à l'année n à un sol nu ou peu végétalisé à l'année n+1.

$$\text{requête1} = [-2 < \Delta_{NDVI} < (m - \sigma)] \quad (11)$$

où m et σ sont respectivement la moyenne et l'écart-type des valeurs des pixels sur l'image Δ_{NDVI} .

La requête 1 livre en sortie une image binaire dans laquelle les pixels positifs (codés 1) correspondent aux zones supposées coupées. Ce résultat reste imprécis et difficilement interprétable puisqu'il attribue une même valeur à différents types de coupes : coupes récentes ou anciennes, coupes certaines ou probables... Il est donc proposé de discrétiser les valeurs comprises dans l'intervalle de la requête 1 en trois classes ordonnées suivant un degré de certitude. Ainsi, plus la valeur d'un pixel s'éloigne de la moyenne de Δ_{NDVI} , plus forte est la certitude que ce soit une coupe rase récente. L'écart-type dimensionne l'amplitude des classes. L'expression est alors exprimée comme suit :

$$\text{requête2} : \quad (12)$$

$$\text{degré1} = [(m - 2 * \sigma) \leq \Delta_{NDVI} < (m - \sigma)]$$

$$\text{degré2} = [(m - 3 * \sigma) \leq \Delta_{NDVI} < (m - 2 * \sigma)]$$

$$\text{degré3} = [-2 < \Delta_{NDVI} < (m - 3 * \sigma)]$$

De cette requête résulte une image codée en entiers compris entre 0 et 3. La valeur 0 désigne toute partie de l'image sans forêt, les valeurs 1 à 3 correspondent aux détections de coupes avec un degré de certitude faible, moyen ou fort. En pratique, le degré 1 contient le plus souvent de fausses détections causées par des effets atmosphériques ou topographiques (ombres).

2.3 EXPORT EN MODE VECTORIEL

2.3.1 POST-TRAITEMENTS

Les données binaires issues de la requête 1 ou 2 comportent des pixels « isolés » qui donnent aux images un effet « poivre et sel ». Bien que ce ne soit pas indispensable, il convient si possible de corriger ces défauts afin de respecter la spécification d'une surface minimale de détection de 1 hectare. Plusieurs solutions techniques sont envisageables pour filtrer les images, notamment sous QGIS. Cependant, ce guide se base uniquement sur les outils proposés par défaut.

2.3.2 VECTEUR ET ATTRIBUTS

Les images de la requête 2, post-traitées ou non, sont converties en vecteur au format shapefile (ESRI). Chaque entité récupère en attribut le degré de certitude. La table attributaire en sortie est enrichie de nouveaux champs, au minimum :

- nuage : identification visuelle des nuages sur les images (=oui/non)
- surface : superficie en hectare de l'entité

Enfin, les entités inférieures à 1 ha (champ surface) et les erreurs liées à la présence de nuages dans l'image sont supprimées ou à défaut, exclues des restitutions cartographiques et des calculs statistiques.

2.3.3 SUPERPOSITION DES VECTEURS (FACULTATIF)

Dans le cas où plusieurs images couvrent la zone d'étude, les couches vectorielles résultantes peuvent être assemblées dans un même fichier. Ce dernier est constitué au moyen d'une union géométrique (outil de géotraitement). Il conserve les attributs des entités en entrée.

Dans les zones de recouvrement, les entités intersectées se retrouvent avec deux de degrés de certitude souvent différents puisque les images satellitaires sont rarement acquises à la même date. Il faut donc recalculer cet indicateur afin de synthétiser l'information issue des couches vectorielles en entrée. Deux méthodes (cf. Figure 8), au choix, sont ici proposées : la moyenne et la concaténation. À la différence de la moyenne, la concaténation a l'avantage d'assurer une « traçabilité » des valeurs issues des deux vecteurs. Les unités définissant le degré de certitude issu de la première image, les dizaines celui de la seconde image.

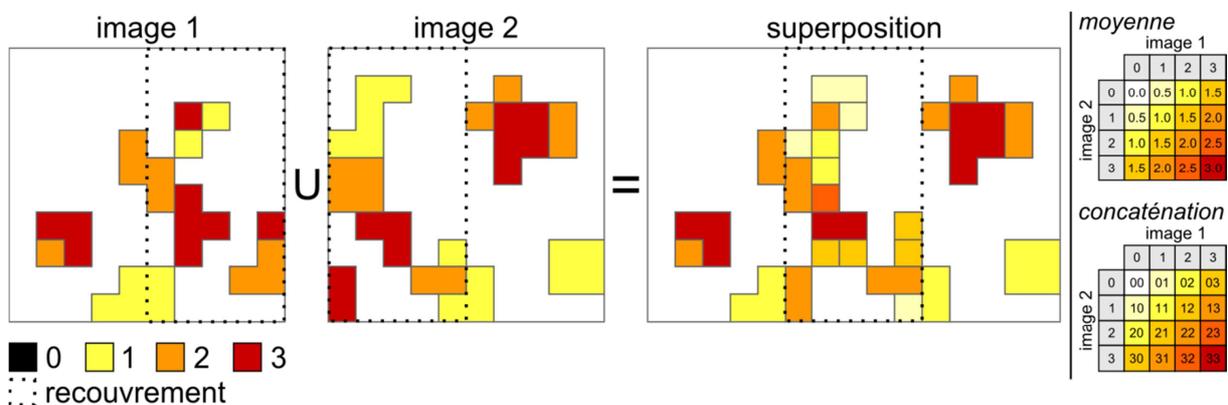


Figure 8. Assemblage des vecteurs de coupes rases détectées

2.4 EVALUATION STATISTIQUE

En fin de chaîne de traitements, la qualité d'extraction des coupes rases est évaluée. Elle est déduite au moyen d'une matrice de confusion (Tableau 4). Chaque colonne de la matrice représente le nombre d'occurrences d'une classe estimée, tandis que chaque ligne représente le nombre d'occurrence de la référence. Le nombre d'occurrences peut être remplacé par la surface. Idéalement la donnée de référence découle d'une observation sur le terrain. Les parcelles expertisées sont ensuite comparées aux résultats de la classification.

À partir de cette matrice, sont calculées :

- La précision globale, elle désigne la proportion d'entités bien classées (diagonale de la matrice).
- La précision pour l'utilisateur, soit la proportion d'entités d'un groupe issu de la classification bien classées vis-à-vis de la référence. Elle se lit en colonne.
- La précision pour le producteur, soit la proportion d'entités d'un groupe de référence correctement classées par télédétection. Elle se lit en ligne.
- Les erreurs d'omission et de commission, elles traduisent l'attribution à une entité d'un intitulé erroné. Plus simplement, elles indiquent si le processus de classification a plutôt tendance à surestimer ou bien à sous-estimer le nombre (ou la surface) des entités appartenant à une classe d'occupation du sol.

Tableau 4. Exemple de matrice de confusion

référence	classification			Précision producteur (%)	Erreur d'omission (%)
	Coupes rases	Autres	Total lignes		
Coupes rases	X_{11}	X_{12}	N_1	$100 \cdot \frac{X_{11}}{N_1}$	$100 \cdot \frac{X_{12}}{N_1}$
Autres	X_{21}	X_{22}	N_2	$100 \cdot \frac{X_{22}}{N_2}$	$100 \cdot \frac{X_{21}}{N_2}$
Total colonnes	M_1	M_2	N		
Précision utilisateur (%)	$100 \cdot \frac{X_{11}}{M_1}$	$100 \cdot \frac{X_{22}}{M_2}$			
Erreur de commission (%)	$100 \cdot \frac{X_{21}}{M_1}$	$100 \cdot \frac{X_{12}}{M_2}$			
Précision globale	$100 \cdot \frac{X_{11} + X_{22}}{N}$				

2.5 LIMITES DE LA MÉTHODE

La méthode de détection des coupes rases par différence des NDVI est opérationnelle et transposable sur des outils SIG ou sur des jeux de données satellitaires variés. Toutefois, le résultat obtenu peut ne pas être une détection véritablement annuelle des coupes rases et ce, pour deux raisons au moins :

1. La constitution d'une couverture satellitaire sur l'ensemble du territoire national, acquise généralement en période estivale, est en fait étalée sur plusieurs mois de l'année, entre le printemps et l'automne (cf. Figure 9). Sur chaque zone du territoire, parmi les images acquises, seule celle présentant la meilleure qualité (le moins de nuages) est conservée. Par conséquent, sur une même sylvo-écorégion, les dates des images voisines sont parfois espacées de plusieurs mois. La détection n'est donc pas un bilan des coupes réalisées sur une année entière, mais seulement sur la période séparant les deux images. Sur certains pans de territoire, cela peut se traduire par une détection des coupes entre le mois d'octobre et le mois de mai de l'année suivante, soit une détection sur un intervalle de sept mois.

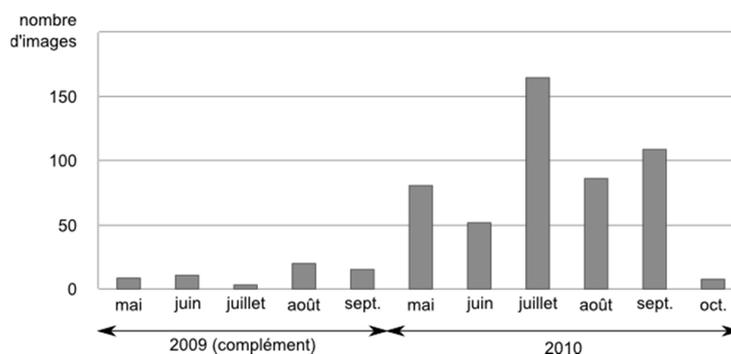


Figure 9. Répartition temporelle des acquisitions de la couverture RapidEye 2010

2. L'indice de végétation permet de différencier aisément les surfaces végétalisées des surfaces en sol nu. Or l'état de sol nu suite à une coupe rase est très bref. La végétation reprend le dessus en quelques mois. La différence des NDVI est donc particulièrement appropriée pour détecter des coupes récentes, beaucoup moins pour des coupes anciennes. Elle sera donc adaptée à un rythme annuel de détection des coupes.

3 TRANSPOSITION DE LA MÉTHODE SOUS QGIS

3.1 PRÉ-REQUIS

3.1.1 SAVOIR-FAIRE ET FORMATIONS

3.1.1.1 SAVOIRS THÉORIQUES ET OPÉRATIONNELS

Le guide méthodologique est conçu pour un public d'ingénieurs et techniciens disposant de connaissances avancées en traitement et en analyse de données numériques à référence spatiale. La maîtrise des principes de base en télédétection est facultative bien que très utile.

En termes de savoir-faire, il est indispensable de bien connaître le fonctionnement du logiciel QGIS, notamment pour la gestion, le traitement et l'analyse de données raster. Des manipulations de base sur les tableurs sont aussi requises.

Si besoin, des formations courtes en SIG et traitements d'images satellitaires sont assurées à Montpellier, au sein de la Maison de la Télédétection. Certaines de ces sessions sont inscrites au catalogue Formco du Ministère de l'Agriculture et sont accessibles aux agents en faisant la demande selon la procédure habituelle, dans la limite des places disponibles.

3.1.1.2 FORMATIONS TETIS-AGROPARISTECH

GeoSud et son partenaire AgroParisTech proposent une formation courte, gratuite pour les agents du MAAF, pour découvrir l'imagerie satellitaire du territoire français mise gratuitement à disposition des acteurs publics et ses applications potentielles. La formation comporte deux sessions :

- Session 1, **Initiation à la télédétection avec Geosud et QGIS** (2 jours) : présentation des principes de la télédétection et des méthodes de traitements des images, initiation aux premiers usages, comme le calcul d'indices et la détection de changements.
- Session 2, **Pratique de la télédétection avec Geosud et QGIS** (3 jours) : description des méthodes de segmentation et de classification des images, avec un approfondissement sur les techniques d'automatisation et de chaînage des traitements.

Chaque session propose en plus un module « application thématique » optionnel. Les sessions 1 et 2 sont suivies respectivement de :

- **Application thématique Geosud, Détection des coupes rases en forêt** (2 jours) : description et mise en pratique de la méthode de détection des coupes rases en forêt dans un objectif de transfert de compétences (session gratuite pour les agents du MAAF).
- **Application thématique Geosud, Détection des CIPAN en agriculture** (3 jours) : description et mise en pratique de la méthode de détection des cultures intermédiaires pièges à nitrates dans un objectif de transfert de compétences (session payante pour les agents du MAAF).

AgroParisTech et l'UMR Tetis proposent également un ensemble cohérent de sessions pouvant se structurer en un parcours qualifiant ou certifiant individualisé. Le contenu et le tarif des formations sont détaillés sur la page Web suivante :

<http://www.agroparistech.fr/Programmes-courts-de-formation.html>

3.1.2 MATÉRIELS ET LOGICIELS

3.1.2.1 LOGICIELS REQUIS

Les traitements raster et vectoriel prévus par la méthode de détection des coupes rases font appel à la bibliothèque GDAL. Ses fonctionnalités sont interfacées dans le logiciel libre et gratuit QGIS.

L'utilisation d'un tableur est aussi nécessaire pour construire des graphiques, déduire des droites de régression ou élaborer une matrice de confusion. S'agissant de manipulations relativement basiques, tout tableur, propriétaire ou libre, convient. Les traitements sont ici réalisés sous LibreOffice Calc.

3.1.2.2 CONFIGURATION MATÉRIELLE

Il n'y a pas de configurations matérielles officielles pour QGIS. De plus, la plupart des fonctionnalités offertes par le logiciel ne tire pas profit des microprocesseurs multi-cœur. La rapidité d'exécution dépend donc des données utilisées et des traitements appliqués.

Pour appliquer la méthode de détection des coupes rases, il est souhaitable d'avoir une configuration respectant au **minimum** les caractéristiques suivantes :

- Système d'exploitation : Windows 7 (32 bits)
- Mémoire vive : 8Gb
- Stockage : 1 à 2To

3.1.3 DONNÉES EN ENTRÉE

3.1.3.1 JEUX DE DONNÉES UTILES

La mise en œuvre de la méthode nécessite de récupérer et de préparer le cas échéant (transformation en Lambert 93 RGF93) quatre jeux de données (Tableau 5) :

Tableau 5. Jeux de données en entrée de la chaîne de traitements

donnée	Source
Images satellitaires à l'année n	GMES, GeoSud, Theia
Images satellitaires à l'année n+1	GMES, GeoSud, Theia
Couche vectorielle des sylvoécotégions	IGN
Couche vectorielle Végétation BD Topo® ou BD Forêt®	IGN

3.1.3.2 MODALITÉS D'ACQUISITION

L'obtention des données, quel que soit le fournisseur, nécessite de s'enregistrer pour pouvoir accéder au catalogue et finalement télécharger.

Les procédures d'enregistrement sont décrites sur les pages Web suivantes :

- GMES :
<http://gmesdata.esa.int/web/gsc/how-to-access-gsc-data>
- Geosud :
<http://www.equipex-geosud.fr/web/guest/comment-adherer>
- IGN :
<http://professionnels.ign.fr/user/register>

3.2 PRÉSENTATION DU LOGICIEL QGIS

3.2.1 UN LOGICIEL LIBRE

QGIS – ou Quantum GIS – est un logiciel libre SIG publié sous la *GNU Public License* (GPL). Ce projet, né en 2002, et mené par une équipe internationale de développeurs, est aujourd’hui officiellement soutenu par la fondation *Open Source Geospatial* (OSGeo).

Multiplateforme, puisqu’il fonctionne sous Linux, Unix, Mac Os X et Windows, cet outil prend aussi en charge la plupart des formats vectoriels et rasters ainsi que les connexions aux bases de données à référence spatiale telles que PostGIS ou Spatialite.

QGIS dispose d’une liste sans cesse enrichie de fonctionnalités grâce à un puissant système d’extensions. Aujourd’hui ce logiciel est pour ainsi dire complet. Il permet de visualiser, gérer, éditer et analyser les données, sans oublier la possibilité de composer des cartes pour impression.

La dernière version publiée est la 2.6.0, nommée « Brighton ». Elle est téléchargeable sur le portail www.qgis.org.

3.2.2 INSTALLATION DE QGIS

N.B. : Ce document présente uniquement l’utilisation sous Windows de QGIS version 2.4.0 « Chugiak ». Pour les autres systèmes d’exploitation, le lecteur est invité à consulter la documentation mise à disposition dans le portail Web officiel de QGIS.

Sous Windows, deux solutions sont proposées pour installer le logiciel QGIS :

1. Installateur indépendant (version recommandée) : il s’agit d’un exécutable (.exe). Cette version comporte toutes les dépendances nécessaires aux fonctions et aux extensions principales. Elle inclut par défaut GRASS, bibliothèque de traitements vectoriels et raster très performante.
2. Installateur réseau OSGeo4w : Cette version fonctionne directement depuis internet et permet de personnaliser le téléchargement des paquets requis tout en gérant les dépendances. Elle est utile aux utilisateurs souhaitant installer des bibliothèques de fonctionnalités spécifiques, ou faire appel à des invites de commandes ou des scripts python...

Lien Web de téléchargement : <http://qgis.org/fr/site/forusers/download.html>

3.2.3 CONFIGURATION DE QGIS

QGIS intègre régulièrement de nouvelles bibliothèques de traitements très performantes et reconnues dans le monde de la recherche. Par exemple l’OTB (*Orfeo ToolBox*) Applications, développé par le CNES, est dédié exclusivement aux données de télédétection. D’autres encore proposent quelques algorithmes pour traiter les images satellitaires, notamment Grass (*Geographic Resources Analysis Support System*) et Saga (*System for Automated Geoscientific Analysis*). En général, elles ont l’avantage d’être plus performantes en termes de fiabilité des résultats et de temps de calcul. Pour plus d’informations sur ces outils, il est conseillé de consulter les pages Web dédiées :

- OTB Applications : <http://www.orfeo-toolbox.org/otb/otb-applications.html>
- Grass GIS : <http://grass.osgeo.org>
- Saga GIS : <http://www.saga-gis.org>

Toutes les installations de QGIS n'intègrent pas l'ensemble de ces bibliothèques (par exemple, la version packagée sur l'Espace Interministériel de l'Information Géographique). En outre, l'installation de ces dernières n'est pas toujours aisée. C'est pourquoi, ce guide transpose la méthode de détection des coupes rases en utilisant uniquement les outils de QGIS. Ce choix favorise donc la généricité au détriment de la performance. Cependant, pour certaines étapes de traitements, le guide indiquera les alternatives possibles sur Grass et OTB.

3.3 DESCRIPTION DE LA CHAÎNE DE TRAITEMENTS

La Figure 10 illustre la succession des traitements requis pour la détection des coupes rases. Pour faciliter sa lecture, les traitements sont regroupés en 7 principales étapes, depuis la détection de changements jusqu'à la qualification des résultats obtenus. La transposition de la méthode, décrite ci-après, est présentée conformément à cet organigramme.

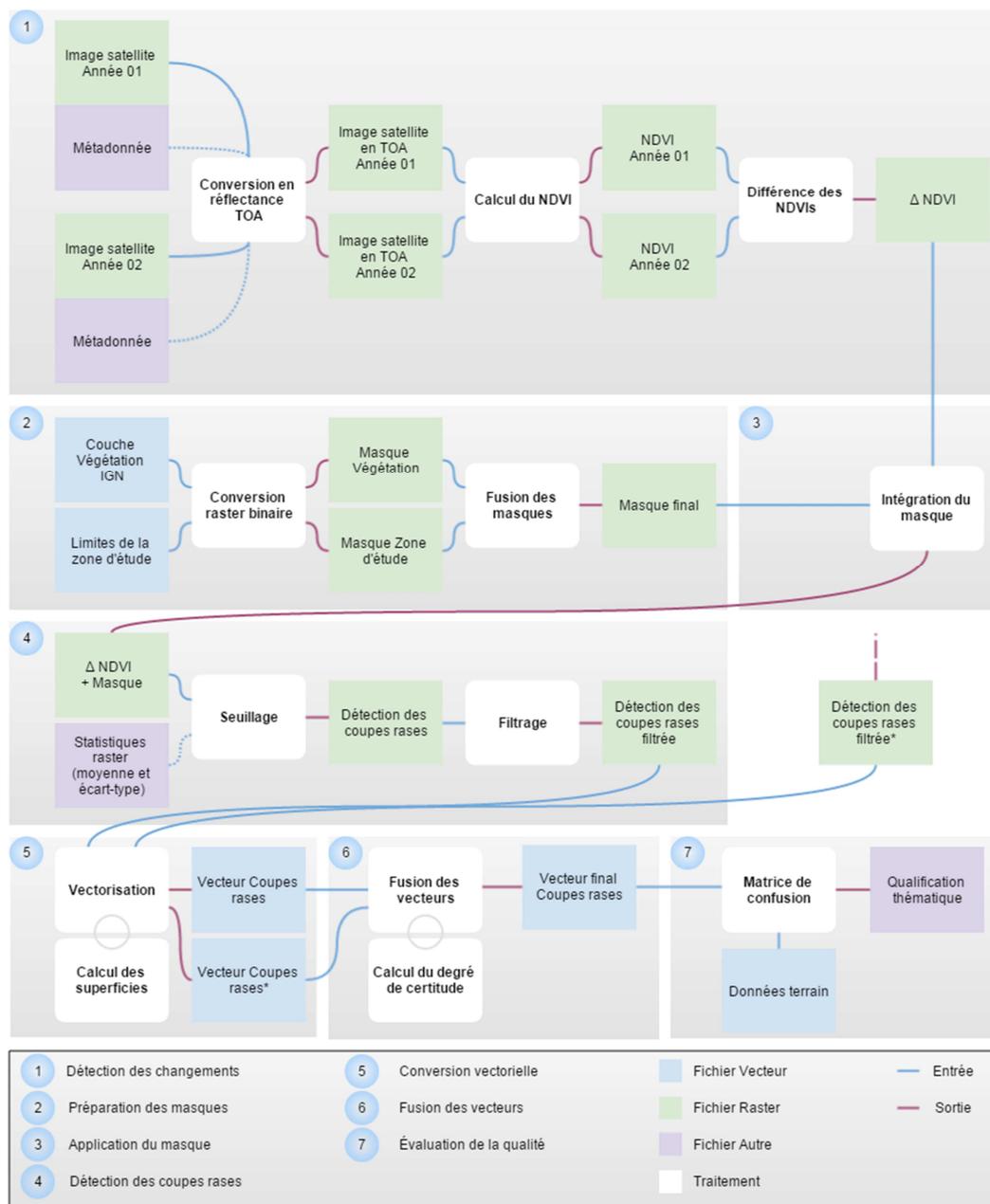
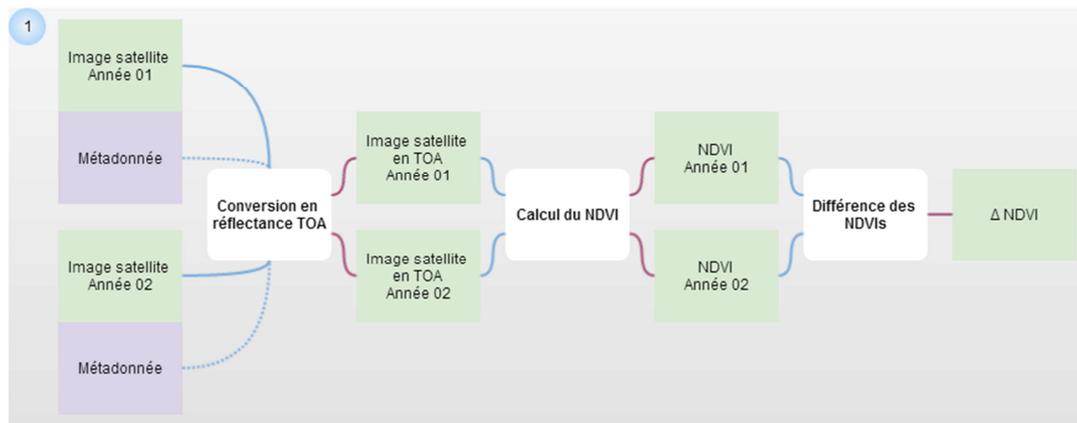


Figure 10. Chaîne de traitements

3.4 ÉTAPE 1 : DÉTECTION DES CHANGEMENTS



Pour suivre l'évolution de l'occupation du sol, l'approche proposée ici consiste à créer une image de changements des états de surface. Dans un premier temps, les images satellitaires acquises à différentes dates sont converties en réflectance puis transformées en indices de végétation. De la différence de ces indices résulte une image monocanal dans laquelle il est possible de visualiser deux principaux types de modifications : le passage d'un état végétalisé à un état sol nu ou autre, et inversement.

3.4.1 CONVERSION DES DONNÉES SATELLITAIRES EN RÉFLECTANCE TOA

L'énergie réfléchi par la surface de la Terre et enregistrée par le capteur dans chaque bande spectrale est codée en comptes numériques (CN) 8 à 16 bits. À partir du CN, il est possible de retrouver la luminance reçue en utilisant les coefficients de calibration fournis par l'opérateur du satellite. Cependant, pour un même couvert végétal, la luminance varie en fonction de l'éclairement solaire, lequel dépend de la saison et de l'heure. Pour comparer les images entre elles, il est alors intéressant de normaliser le rayonnement réfléchi par le rayonnement incident et donc de convertir la luminance en réflectance comme indiqué dans l'équation 5 (page 9).

En entrée de cette étape, deux images au moins sont nécessaires. Elles correspondent chacune à une année d'étude et seront nommées *annee1* et *annee2* dans la description des traitements qui suit.

3.4.1.1 PARAMÈTRES DE CONVERSION

Chaque capteur dispose d'une métadonnée spécifique. Néanmoins, toutes fournissent les informations nécessaires à la conversion en réflectance TOA.

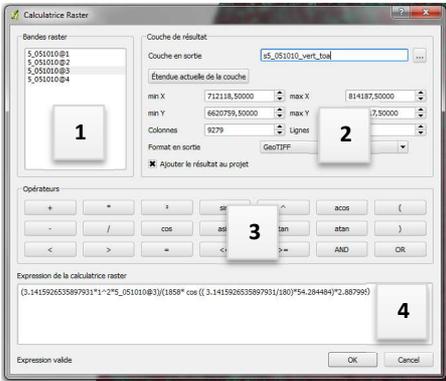
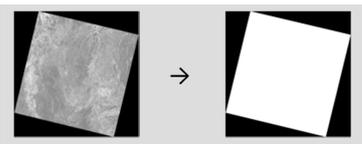
Démarche	Manipulation sous QGis
1. Ouverture du fichier de métadonnées	<p>Ouvrir le fichier métadonnée de l'image à traiter dans un éditeur de texte (Bloc-notes, Notepad++, ou autres).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pour SPOT : <code>metadata.dim</code> • Pour RapidEye : <code>[nom de l'image].xml</code> • Pour IRS : <code>calib.dat</code> et <code>[nom de l'image].txt</code> • Pour Landsat 8 : <code>[nom de l'image]_MTL.txt</code> <p>Remarque : Les paramètres utiles à la calibration en réflectance TOA varient d'une image à l'autre. Excepté la luminance équivalente solaire qui est constante pour chaque bande spectrale et ce, quelle que soit la date d'acquisition.</p>

<p>2. Récupération des paramètres dans la métadonnée DIMAP de SPOT</p>	<p>Pour chaque bande spectrale (<BAND_DESCRIPTION>), récupérer les informations suivantes :</p> <ol style="list-style-type: none"> Le gain et le biais <pre><Spectral_Band_Info> <BAND_DESCRIPTION>XS1</BAND_DESCRIPTION> <PHYSICAL_UNIT>equivalent radiance (W.m-2.Sr-1.um-1)</PHYSICAL_UNIT> <PHYSICAL_BIAS>0.000000</PHYSICAL_BIAS> <PHYSICAL_GAIN>2.887995</PHYSICAL_GAIN></pre> L'angle d'élévation solaire <pre><SUN_ELEVATION>35.715516</SUN_ELEVATION></pre> La luminance équivalente solaire eSun Cf. lien Web : http://www.astrium-geo.com/files/pmedia/public/r1983_9_spot_luminancesequivalentessolaires.pdf Pour une image SPOT, repérer le numéro de l'instrument : <pre><INSTRUMENT_INDEX>2</INSTRUMENT_INDEX></pre> <p>Si <INSTRUMENT_INDEX> = 1 : la luminance solaire vaut : pIR = 1043, rouge = 1573, vert = 1858 et mIR = 236 Si <INSTRUMENT_INDEX> = 2 : la luminance solaire vaut : pIR = 1047, rouge = 1575, vert = 1858 et mIR = 234</p> <p>Exemple pour une image SPOT5 :</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Bande Spot</th> <th>Gain</th> <th>Angle solaire</th> <th>Distance Terre-Soleil</th> <th>Lum. solaire</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pIR</td> <td>1</td> <td>XS3</td> <td>2.387028</td> <td>35,715516</td> <td>1</td> <td>1047</td> </tr> <tr> <td>Rouge</td> <td>2</td> <td>XS2</td> <td>3.826256</td> <td>35,715516</td> <td>1</td> <td>1575</td> </tr> <tr> <td>Vert</td> <td>3</td> <td>XS1</td> <td>2.887995</td> <td>35,715516</td> <td>1</td> <td>1858</td> </tr> <tr> <td>mIR</td> <td>4</td> <td>SWIR</td> <td>18.419145</td> <td>35,715516</td> <td>1</td> <td>234</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>N.B. Dans la méthode présentée ici, les informations relatives au vert et au moyen infrarouge ne sont pas nécessaires.</i></p> 	Bande Spot	Gain	Angle solaire	Distance Terre-Soleil	Lum. solaire	pIR	1	XS3	2.387028	35,715516	1	1047	Rouge	2	XS2	3.826256	35,715516	1	1575	Vert	3	XS1	2.887995	35,715516	1	1858	mIR	4	SWIR	18.419145	35,715516	1	234
Bande Spot	Gain	Angle solaire	Distance Terre-Soleil	Lum. solaire																														
pIR	1	XS3	2.387028	35,715516	1	1047																												
Rouge	2	XS2	3.826256	35,715516	1	1575																												
Vert	3	XS1	2.887995	35,715516	1	1858																												
mIR	4	SWIR	18.419145	35,715516	1	234																												
<p>3. Récupération des paramètres dans la métadonnée RapidEye</p>	<p>Pour chaque bande spectrale (<re:bandNumber>), récupérer :</p> <ol style="list-style-type: none"> le facteur de correction radiométrique : <pre><re:bandSpecificMetadata> <re:bandNumber>1</re:bandNumber> <re:startDateTime>2009-08-01T11:17:30.0886342</re:startDateTime> <re:endDateTime>2009-08-01T11:17:38.8275882</re:endDateTime> <re:percentMissingLines>0.000000000000000e+00</re:percentMissingLines> <re:percentSuspectLines>0.000000000000000e+00</re:percentSuspectLines> <re:binning>1x1</re:binning> <re:shifting>1</re:shifting> <re:masking>111</re:masking> <re:radiometricScaleFactor>9.99999776482582e-03</re:radiometricScaleFactor> </re:bandSpecificMetadata></pre> <p><i>N.B. À défaut, il est possible de considérer ce facteur comme étant égal à 0.01 pour toutes les bandes spectrales.</i></p> L'angle d'élévation solaire <pre><re:Acquisition> <eop:orbitDirection>DESCENDING</eop:orbitDirection> <eop:incidenceAngle uom="deg">7.170000e+00</eop:incidenceAngle> <opt:illuminationAzimuthAngle uom="deg">1.668470e+02</opt:illuminationAzimuthAngle> <opt:illuminationElevationAngle uom="deg">6.127787e+01</opt:illuminationElevationAngle> <re:azimuthAngle uom="deg">2.808700e+02</re:azimuthAngle> <re:spaceCraftViewAngle uom="deg">6.751920e+00</re:spaceCraftViewAngle> <re:acquisitionDateTime>2009-08-01T11:17:35.9315142</re:acquisitionDateTime> </re:Acquisition></pre> La luminance équivalente solaire eSun bleu = 1997.8, vert = 1863.5, rouge = 1560.4, rededge = 1395.0, pIR = 1124.4 																																	

<p>4. Récupération des paramètres dans les métadonnées IRS</p>	<p>Dans le fichier <code>calib.dat</code>, récupérer pour chaque bande :</p> <p>1. les valeurs de luminance maximum et minimum</p> <pre>05 1217 1224 F8.5 1st Band min radiance LMIN (mw/(cm*cm)/str/micrometer) 0.0000< 06 1225 1232 F8.5 1st Band max radiance LMAX (mw/(cm*cm)/str/micrometer) 12.0640< 07 1233 1240 F8.5 2nd Band min radiance LMIN (mw/(cm*cm)/str/micrometer) 0.0000< 08 1241 1248 F8.5 2nd Band max radiance LMAX (mw/(cm*cm)/str/micrometer) 15.1310< 09 1249 1256 F8.5 3rd Band min radiance LMIN (mw/(cm*cm)/str/micrometer) 0.0000< 10 1257 1264 F8.5 3rd Band max radiance LMAX (mw/(cm*cm)/str/micrometer) 15.7570< 11 1265 1272 F8.5 4th Band min radiance LMIN (mw/(cm*cm)/str/micrometer) 0.0000< 12 1273 1280 F8.5 4th Band max radiance LMAX (mw/(cm*cm)/str/micrometer) 3.3970<</pre> <p>Dans le fichier <code>[nom de l' image].txt</code>, récupérer :</p> <p>2. L'angle d'élévation solaire Cf. lien Web : http://www.rapideye.com/about/resources.htm?tab=9#TabbedPanels1</p> <pre>51 574 589 F16.7Sun angle (Azimuth) (deg) > 162.8089001< 52 590 605 F16.7Sun angle (elevation) (deg) > 44.7891249< 53 606 621 F16.7Predicated scene centre latitude (deg) > 48.6480713<</pre> <p>3. La luminance équivalente solaire eSun (pour capteur Liss-3) Cf. lien Web : http://www.euromap.de/pdf/IRS_exoatm.pdf <code>vert = 1849.5, rouge = 1553.0, pIR = 1092.0, mIR = 239.52</code></p>
<p>5. Récupération des paramètres dans les métadonnées Landsat 8</p>	<p>Pour chaque bande spectrale (GROUP = L1_METADATA_FILE), récupérer les informations suivantes :</p> <p>1. Le facteur de correction multiplicatif Dans le sous-groupe <code>RADIOMETRIC_RESCALING</code></p> <pre>RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2781E-02 RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.3088E-02 RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.2061E-02 RADIANCE_MULT_BAND_4 = 1.0170E-02 RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.2237E-03 RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5478E-03 RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.2169E-04 RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1510E-02 RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.4324E-03 RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04 RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04</pre> <p>2. Le facteur de correction additif Dans le sous-groupe <code>RADIOMETRIC_RESCALING</code></p> <pre>RADIANCE_ADD_BAND_1 = -63.90724 RADIANCE_ADD_BAND_2 = -65.44179 RADIANCE_ADD_BAND_3 = -60.30405 RADIANCE_ADD_BAND_4 = -50.85177 RADIANCE_ADD_BAND_5 = -31.11875 RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.73895 RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.60844 RADIANCE_ADD_BAND_8 = -57.55021 RADIANCE_ADD_BAND_9 = -12.16191 RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000 RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000</pre> <p>3. L'angle d'élévation solaire Dans le sous-groupe <code>IMAGE_ATTRIBUTES</code></p> <pre>ROLL_ANGLE = -0.001 SUN_AZIMUTH = 152.56763688 SUN_ELEVATION = 35.99453465 EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9911318</pre>

3.4.1.2 CRÉATION DU MASQUE DE L'EMPRISE

Le plus souvent, les images satellitaires géoréférencées se présentent à l'affichage tel un rectangle incliné. Les pixels situés en dehors complètent l'emprise mais n'apportent aucune information. La création d'un masque est alors conseillée pour conserver tout au long des traitements une information sur la localisation des pixels valides et non valides.

Démarche	Manipulation sous QGis
<p>1. Ouverture de l'image</p>	<p>Ouvrir QGis</p> <p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur : Couche > Ajouter une couche raster... ou cliquer sur  • Sélectionner l'image satellitaire <code>annee1</code>.
<p>2. Présentation de la calculatrice Raster</p>	<p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur : Raster > Calculatrice Raster. <p>La calculatrice raster apparaît. Elle comporte 4 blocs :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La liste des canaux d'image disponibles (ouverts sous QGis) 2. La couche résultat : nom de la couche raster en sortie, format et étendue 3. Les opérateurs de calcul 4. Un champ de formule 
<p>3. Création du masque de l'emprise annee1</p>	<p>Dans la calculatrice Raster :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sélectionner les bandes spectrales rouge et proche infrarouge et, saisir l'expression suivante dans le champ de formule : <hr/> <p style="text-align: center;"><code>"annee1@x" > 0 AND "annee1@y" > 0</code></p> <hr/> <p><i>Où x et y correspondent respectivement à l'index des bandes rouge et proche infrarouge.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur Étendue actuelle de la couche en sélectionnant au préalable la bande raster utilisée • En sortie, nommer le résultat <code>annee1_emprise.tif</code> <p>L'image créée est un masque binaire. Les pixels codés 1 (blanc) correspondent aux pixels informés, ceux codés 0 (noir) aux pixels invalides (bordure de l'image).</p> 
<p>4. Création du masque de l'emprise annee2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Répéter la dernière opération pour l'image de l'année suivante et, • Nommer le fichier en sortie <code>annee2_emprise.tif</code>

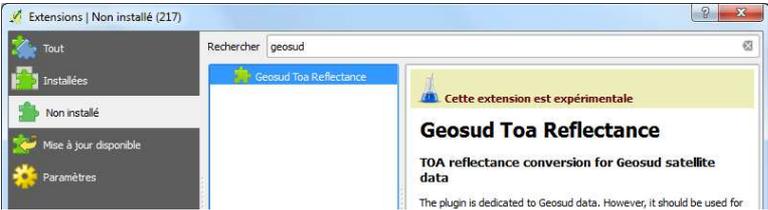
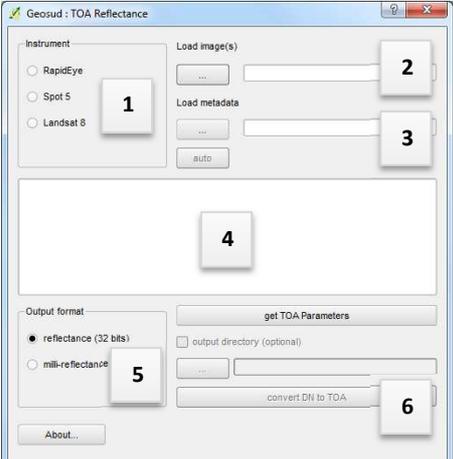
5. Fusion de masques	<p>Ouvrir les fichiers d'emprise <code>annee1_emprise.tif</code> et <code>annee2_emprise.tif</code></p> <p>Dans la calculatrice Raster :</p> <ul style="list-style-type: none"> Saisir l'expression suivante dans le champ de formule : <hr/> <p style="text-align: center;"><code>"annee1_emprise @1" * "annee2_emprise @1"</code></p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> En sortie, nommer le résultat <code>emprise_globale.tif</code>
----------------------	--

3.4.1.3 CONVERSION EN RÉFLECTANCE TOA

Le passage en réflectance TOA est une étape délicate car la valeur de la plupart des paramètres requis change pour chaque bande spectrale d'une même image. De plus, les expressions sont différentes entre capteurs. Sous QGIS, cette conversion peut être réalisée au moins de deux manières, soit par la calculatrice Raster, soit par un plugin dédié.

Démarche	Manipulation sous QGIS (calculatrice Raster)										
1. Ouverture de l'image	<p>Ouvrir QGIS</p> <p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur : Couche > Ajouter une couche raster... ou cliquer sur  Sélectionner l'image satellitaire à traiter (<code>annee1</code> ou <code>annee2</code>). 										
2. Utilisation de la calculatrice Raster et conversion en réflectance TOA	<p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur Raster > Calculatrice Raster. La calculatrice raster apparaît. <p>Dans la calculatrice Raster :</p> <ul style="list-style-type: none"> Pour chaque bande spectrale utile (rouge et proche infrarouge), copier l'équation correspondant au type de capteur (SPOT, RapidEye, etc.) dans le champ de formule en remplaçant les constantes (en gras) par celles récupérées dans les métadonnées : <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Satellite</th> <th>Expression</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SPOT</td> <td>$(\pi * \text{distanceTerre-Soleil}^2 * \text{Valeur_pixel}) / (\text{eSun}[\text{band}] * \cos((\pi / 180) * (90 - \text{angleElevationSolaire})) * \text{PHYSICAL_GAIN}[\text{band}])$</td> </tr> <tr> <td>RapidEye</td> <td>$(\pi * \text{distanceTerre-Soleil}^2 * \text{Valeur_pixel} * \text{radiometricScaleFactor}[\text{band}]) / (\text{eSun}[\text{band}] * \cos((\pi / 180) * (90 - \text{angleElevationSolaire})))$</td> </tr> <tr> <td>IRS</td> <td> <i>Lm:</i> $((((\text{LMAX}[\text{band}]) - (\text{LMIN}[\text{band}])) * \text{Valeur_pixel}) / 255) + (\text{LMIN}[\text{band}]))$ <i>TOA :</i> $(\pi * \text{distanceTerre-Soleil}^2 * Lm) / (\text{eSun}[\text{band}] * \cos((\pi / 180) * (90 - \text{angleElevationSolaire})))$ </td> </tr> <tr> <td>Landsat 8</td> <td>$(\text{RADIANCE_MULT_BAND}[\text{band}] * \text{Valeur_pixel} + \text{RADIANCE_ADD_BAND}[\text{band}]) / (\cos((\pi / 180) * (90 - \text{angleElevationSolaire})))$</td> </tr> </tbody> </table> <p>Par exemple pour la bande spectrale rouge de Spot, cela donne :</p> $(3.14 * 1^2 * \text{5_051010@2}) / (1575 * \cos((3.14 / 180) * (90 - 35.715516))) * 3.826256$ <p style="text-align: center;">  Le nom de la bande respecte la syntaxe suivante : <code>nom_image@numéro_bande</code> </p>	Satellite	Expression	SPOT	$(\pi * \text{distanceTerre-Soleil}^2 * \text{Valeur_pixel}) / (\text{eSun}[\text{band}] * \cos((\pi / 180) * (90 - \text{angleElevationSolaire})) * \text{PHYSICAL_GAIN}[\text{band}])$	RapidEye	$(\pi * \text{distanceTerre-Soleil}^2 * \text{Valeur_pixel} * \text{radiometricScaleFactor}[\text{band}]) / (\text{eSun}[\text{band}] * \cos((\pi / 180) * (90 - \text{angleElevationSolaire})))$	IRS	<i>Lm:</i> $((((\text{LMAX}[\text{band}]) - (\text{LMIN}[\text{band}])) * \text{Valeur_pixel}) / 255) + (\text{LMIN}[\text{band}]))$ <i>TOA :</i> $(\pi * \text{distanceTerre-Soleil}^2 * Lm) / (\text{eSun}[\text{band}] * \cos((\pi / 180) * (90 - \text{angleElevationSolaire})))$	Landsat 8	$(\text{RADIANCE_MULT_BAND}[\text{band}] * \text{Valeur_pixel} + \text{RADIANCE_ADD_BAND}[\text{band}]) / (\cos((\pi / 180) * (90 - \text{angleElevationSolaire})))$
Satellite	Expression										
SPOT	$(\pi * \text{distanceTerre-Soleil}^2 * \text{Valeur_pixel}) / (\text{eSun}[\text{band}] * \cos((\pi / 180) * (90 - \text{angleElevationSolaire})) * \text{PHYSICAL_GAIN}[\text{band}])$										
RapidEye	$(\pi * \text{distanceTerre-Soleil}^2 * \text{Valeur_pixel} * \text{radiometricScaleFactor}[\text{band}]) / (\text{eSun}[\text{band}] * \cos((\pi / 180) * (90 - \text{angleElevationSolaire})))$										
IRS	<i>Lm:</i> $((((\text{LMAX}[\text{band}]) - (\text{LMIN}[\text{band}])) * \text{Valeur_pixel}) / 255) + (\text{LMIN}[\text{band}]))$ <i>TOA :</i> $(\pi * \text{distanceTerre-Soleil}^2 * Lm) / (\text{eSun}[\text{band}] * \cos((\pi / 180) * (90 - \text{angleElevationSolaire})))$										
Landsat 8	$(\text{RADIANCE_MULT_BAND}[\text{band}] * \text{Valeur_pixel} + \text{RADIANCE_ADD_BAND}[\text{band}]) / (\cos((\pi / 180) * (90 - \text{angleElevationSolaire})))$										

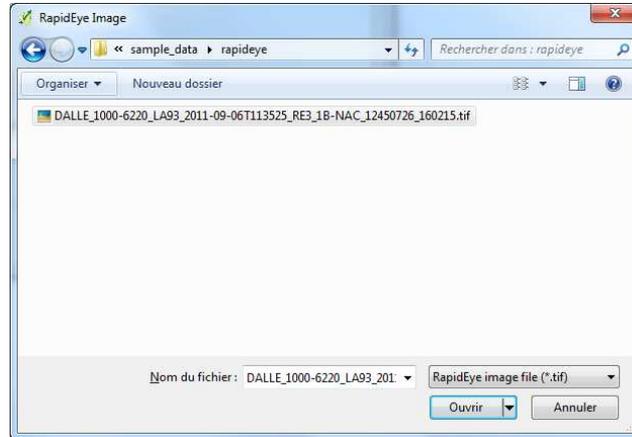
	<ul style="list-style-type: none"> En sortie, indiquer le nom de la nouvelle image, par exemple : <ul style="list-style-type: none"> annee1_toa_pir.tif et annee1_toa_rouge.tif.
	Répéter la dernière opération pour l'image de l'année suivante et, Nommer les fichiers en sortie annee2_toa_pir.tif et annee2_toa_rouge.tif

Démarche	Manipulation sous QGis (plugin)
<p>1. Installation de l'extension Geosud Toa Reflectance</p>	<p>Une extension QGis, développée par Irstea/Geosud, permet de convertir automatiquement en réflectance TOA les images issues des capteurs Spot 5, RapidEye et Landsat 8. Cet outil reproduit les procédures décrites ci-dessus. Il permet d'éviter des erreurs de manipulations et de gagner en temps de traitements.</p> <p>Dans la barre des menus, cliquer sur Extension > Installer/Gérer les extensions</p> <p>Dans la fenêtre Extensions :</p> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur l'onglet Paramètres et, <ul style="list-style-type: none"> cocher Afficher les extensions expérimentales Cliquer sur l'onglet Non installé <ul style="list-style-type: none"> Dans le champ Rechercher, saisir geosud, Sélectionner l'extension Geosud Toa Reflectance et, Cliquer sur Installer l'extension  <p>L'extension peut être appelée de deux manières :</p> <ul style="list-style-type: none"> Dans la barre des menus <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur Extension > Geosud Toa Reflectance > geosud Toa ou, Cliquer sur l'icône TOA dans la barre des extensions
<p>2. Description de l'extension Geosud Toa Reflectance</p>	<p>L'extension Geosud Toa Reflectance est interfacée de manière à respecter les étapes suivantes :</p> <ol style="list-style-type: none"> Choix du capteur, Chargement de l'image, Chargement de la métadonnée, Affichage des paramètres requis pour la conversion en TOA, Choix du codage en sortie, Création de l'image en réflectance TOA. 

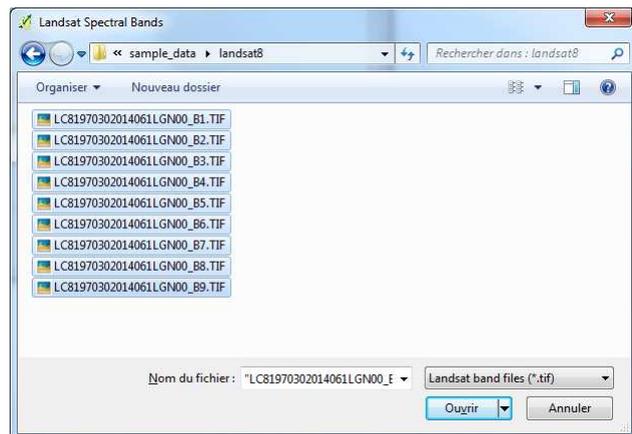
3. Exemple d'utilisation

Dans la fenêtre de l'extension **Geosud Toa Reflectance** :

- Sélectionner un instrument (RapidEye, Spot5 ou Landsat8)
- Dans le champ **Load Image(s)**, cliquer sur le bouton ...
 - Si RapidEye ou Spot5 sont cochés, charger une image multispectrale



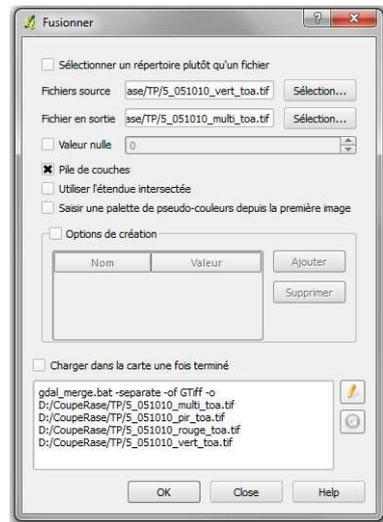
- Si Landsat 8 est coché, sélectionner une ou plusieurs bandes spectrales (*N.B. : ne fonctionne pas pour l'infrarouge thermique*)



- Dans le champ **Load Metadata** :
 - Cliquer sur le bouton **auto**, l'extension recherche automatiquement la métadonnée associée.
 - Si le nom ou l'emplacement de la métadonnée a été modifié :
 - Cliquer sur le bouton ... pour indiquer le chemin de la métadonnée
- Cliquer sur le bouton **get TOA parameters**, les paramètres utiles à la conversion en réflectance TOA s'affichent,
- Dans le champ **Output format**, choisir le codage des fichiers créés :
 - reflectance (32 bits) : les valeurs de pixels sont des nombres décimaux compris entre 0 et 1
 - milli-reflectance (16 bits) : les valeurs de pixels sont des entiers naturels compris entre 0 et 1000.
- Cliquer sur **convert DN to TOA**. Les fichiers en sortie (GeoTiff uniquement) sont stockés par défaut dans le même répertoire que les fichiers sources. Pour spécifier un autre emplacement, cocher au préalable l'option **output directory** et indiquer le répertoire en cliquant sur le bouton ...

Le nom des fichiers en sortie comporte le nom d'origine auquel est ajouté un suffixe, '_refToa16.tif' ou '_refToa32.tif' selon le codage choisi.

<p>4. Compilation des bandes converties en réflectance TOA (facultatif)</p>	<p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur : Raster > Divers > Fusionner <p>Dans la fenêtre fusionner :</p> <ul style="list-style-type: none"> • sélectionner les 3 fichiers raster créés précédemment (annee1_pir_toa.tif, annee1_rouge_toa.tif, annee1_vert_toa.tif) <p><i>N.B. L'ordre de sélection correspond à l'ordre dans lequel seront positionnées les bandes dans la nouvelle image.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Renseigner le nom et l'emplacement du fichier en sortie, par ex. annee1_multi_toa.tif • Cocher Pile de couches <p>L'image obtenue comporte trois canaux (pIR, rouge et vert). Il est possible de l'afficher en composition colorée « fausses couleurs » (végétation en rouge)</p>								
	<p>Répéter l'étape 7 pour chaque image satellitaire</p>								
	<p>À ce stade 4 fichiers par date sont produits</p> <p><i>N.B. Les sorties en italique sont utiles uniquement pour une égalisation radiométrique par la méthode des invariants (cf. § 3.4.2).</i></p> <table border="1" data-bbox="603 1155 1241 1258"> <tr> <td><i>annee1_toa_rouge.tif</i></td> <td><i>annee2_toa_rouge.tif</i></td> </tr> <tr> <td><i>annee1_toa_vert.tif</i></td> <td><i>annee2_toa_vert.tif</i></td> </tr> <tr> <td><i>annee1_toa_pir.tif</i></td> <td><i>annee2_toa_pir.tif</i></td> </tr> <tr> <td><i>annee1_toa_multi.tif</i></td> <td><i>annee2_toa_multi.tif</i></td> </tr> </table>	<i>annee1_toa_rouge.tif</i>	<i>annee2_toa_rouge.tif</i>	<i>annee1_toa_vert.tif</i>	<i>annee2_toa_vert.tif</i>	<i>annee1_toa_pir.tif</i>	<i>annee2_toa_pir.tif</i>	<i>annee1_toa_multi.tif</i>	<i>annee2_toa_multi.tif</i>
<i>annee1_toa_rouge.tif</i>	<i>annee2_toa_rouge.tif</i>								
<i>annee1_toa_vert.tif</i>	<i>annee2_toa_vert.tif</i>								
<i>annee1_toa_pir.tif</i>	<i>annee2_toa_pir.tif</i>								
<i>annee1_toa_multi.tif</i>	<i>annee2_toa_multi.tif</i>								



3.4.2 ÉGALISATION RADIOMÉTRIQUE : MÉTHODE DES INVARIANTS (FACULTATIF)

Même si deux images sont acquises sur la même zone à une année d'intervalle dans des conditions d'éclairage similaires, la composition de l'atmosphère diffère le plus souvent, et altère de fait le signal capté par le satellite. Il est alors souhaitable d'appliquer une normalisation radiométrique relative pour réduire l'impact des effets atmosphériques sur la réflectance enregistrée. Le principe est de choisir une image de référence, celle qui présente la meilleure dynamique radiométrique, pour normaliser la seconde image (cf. Figure 11). Cette méthode recourt à la normalisation par cibles invariantes, lesquelles sont sélectionnées sur une zone commune aux deux images.

Cette méthode est recommandée, sans être obligatoire, pour comparer un couple d'images acquises à deux dates différentes sur une même zone. Au-delà de deux images, elle est fortement déconseillée en raison d'un risque fort de propagation d'erreur.

Dans l'exemple ci-contre, l'image de référence est l'année 1 car l'étendue de sa dynamique est supérieure à celle de l'année 2. La radiométrie de l'image de l'année 2 est donc corrigée sur la base des statistiques issues des cibles invariantes.

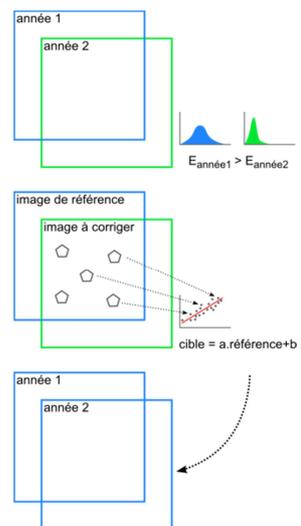
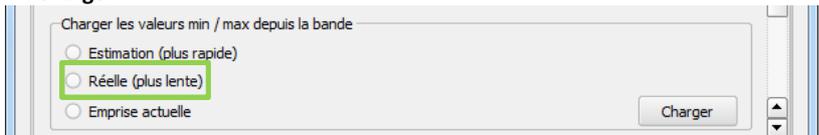


Figure 11. Égalisation radiométrique

3.4.2.1 CHOIX DE L'IMAGE DE RÉFÉRENCE

L'égalisation radiométrique a pour principe de corriger les images en fonction d'une référence. Celle-ci est choisie en fonction de sa dynamique.

Démarche	Manipulation sous QGis
1. Ouverture des images dans QGis et, choix de l'image de référence	<p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur : Couche > Ajouter une couche raster... ou cliquer sur  • Sélectionner les 2 images converties en réflectance <ul style="list-style-type: none"> o annee1_multi_toa.tif o annee2_multi_toa.tif
2. Actualisation des statistiques de l'image et, sélection de l'image de référence	<p>Dans la liste des couches :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Double-cliquer sur le nom de la 1^{ère} image, la fenêtre des propriétés de la couche s'affiche. <p>Dans la fenêtre des propriétés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur l'onglet Style et noter les valeurs min/max de l'image.  • Si ces valeurs ne sont pas disponibles, cocher le bouton radio Réelle (plus lente) dans le bloc Charger les valeurs min/max depuis la bande, puis cliquer sur le bouton Charger.  • Répéter l'opération pour la seconde image. <p>L'image ayant la plus grande étendue (max-min) dans le proche infrarouge correspond à l'image de référence.</p> <p>Dans le cadre de cet exercice, la référence correspond à l'image de l'année 1 (annee1_multi_toa.tif).</p>

3.4.2.2 SAISIE DES CIBLES INVARIANTES

Les cibles invariantes permettent de construire la correspondance radiométrique entre la ou les image(s) cible(s) et l'image de référence. Cette donnée requiert l'intervention d'un opérateur qui les digitalise par photo-interprétation.

Démarche	Manipulation sous QGis
1. Création de la couche vectorielle des cibles invariantes	<p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur Couche > Nouveau > Nouvelle couche shapefile... <p>Dans la fenêtre Nouvelle couche vecteur, renseigner :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le type de géométrie : Polygon • le système de projection, cliquer sur le bouton Specify CRS : <ul style="list-style-type: none"> o Dans la fenêtre Coordinate Reference System Selector, sélectionner RGF93/Lambert-93 (cette référence peut être retrouvée au moyen du champ filtre en entrant le numéro de l'EPSG correspondant, à savoir 2154) • Cliquer sur OK et nommer le shapefile, par exemple Parcelle_calib.shp

2. Sélection des cibles invariantes

Dans la **barre des menus** :

- Cliquer sur : **Couche > Ajouter une couche vecteur...** ou cliquer sur 
- Ouvrir le shapefile créé à l'étape 1 (Parcelle_calib.shp)
- Basculer en mode Edition en cliquant sur 
 - Zoomer sur la zone commune aux deux images,
 - Repérer une première zone n'ayant pas changé entre les deux dates (sol nu, forêt dense, bâtiment, parking, lac...)
 - Cliquer sur  et digitaliser les contours de cette zone.
(clic gauche pour créer un nouveau nœud, clic droit pour fermer le polygone).



De la même manière, dessiner une vingtaine de polygones en variant les types d'occupation du sol.

- Sauvegarder les polygones en cliquant sur 
- Quitter le mode Edition en cliquant de nouveau sur 

3. Calcul des statistiques zonales

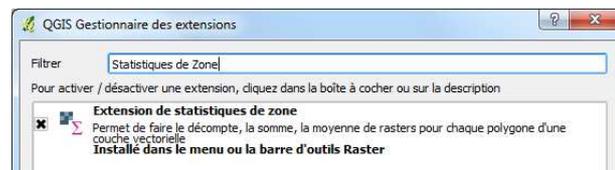
Ouvrir les images TOA :

annee1_toa_rouge.tif	annee2_toa_rouge.tif
annee1_toa_vert.tif	annee2_toa_vert.tif
annee1_toa_pir.tif	annee2_toa_pir.tif

Afin de calculer la valeur moyenne des pixels inclus dans chaque polygone des cibles invariantes, il faut charger l'extension **Zonal Statistics** sous QGIS.

Cliquer sur **Extensions > Gestionnaire des extensions**, une fenêtre comportant un certain nombre d'extensions s'affiche.

Dans le champ **Filtrer**, saisir Statistiques de Zone ou Zonal Statistics (en fonction de la langue choisie par défaut sur le logiciel), cocher l'extension et cliquer sur **OK**.

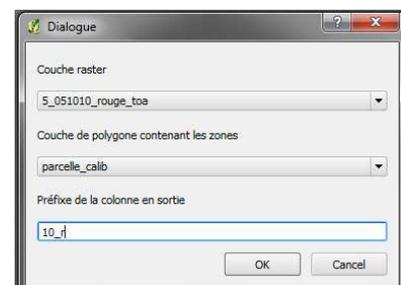


Dans la **barre des menus** :

- Cliquer sur : **Raster > Statistiques de zone > Statistiques de zones** ou cliquer sur , une fenêtre **Dialogue** s'affiche.

Dans la fenêtre **Dialogue** :

- Dans le champ **Couche raster**, choisir un raster, par exemple annee1_toa_rouge.tif
- Dans le champ **Couche de polygone**, choisir le vecteur Parcelle_calib.shp
- Dans le champ **Préfixe de la colonne en sortie**, saisir un nom explicite, par exemple d1_r (pour date1, canal rouge).
N.B. le préfixe ne doit pas dépasser 5 caractères.
- Cliquer sur **OK**

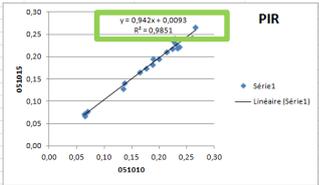
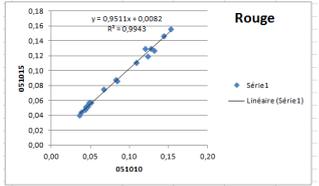


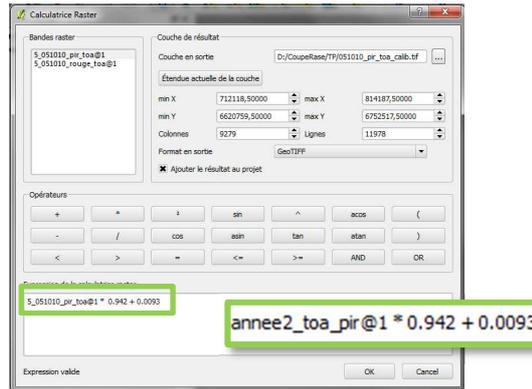
Répéter cette étape pour les 5 autres images TOA.

Normalement, 18 nouveaux champs ont été ajoutés dans la table attributaire du vecteur `Parcelle_calib.shp`. Ils correspondent aux effectifs (`count`), sommes (`sum`) et moyennes (`mean`) des canaux proche infrarouge, rouge et vert pour chacune des deux dates.

3.4.2.3 CALCUL DES DROITES DE RÉGRESSION ET ÉGALISATION RADIOMÉTRIQUE

Les équations des droites de régression sont déduites sur la base des statistiques zonales associées aux cibles invariantes. Elles permettent de corriger les images vis-à-vis de la référence et de les rendre comparable finalement.

Démarche	Manipulation sous QGIS																																																																																
<p>1. Calcul de l'équation de la droite de régression</p>	<p>Le calcul de l'équation de la droite de régression est réalisé sous un tableur. La procédure est décrite ici sous Excel mais d'autres logiciels peuvent être utilisés, notamment libres comme LibreOffice Calc.</p> <p>Démarrer Excel et ouvrir le fichier <code>Parcelle_calib.dbf</code> Enregistrer ce fichier au format Excel.</p> <p>Chaque ligne de la table correspond à une cible invariante (un polygone), chaque colonne décrit un attribut. Pour plus de lisibilité, il est conseillé de supprimer les champs relatifs aux effectifs et à la somme des pixels, c'est-à-dire ceux qui comportent les suffixes <code>Count</code> ou <code>Sum</code>.</p> <p>Pour chaque bande spectrale (PIR, rouge et vert), créer le nuage de points en mettant en abscisse l'année à égaliser et en ordonnée celle de référence.</p> <p>Calculer ensuite l'équation de la droite de régression et le coefficient de détermination R^2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clic-droit sur le graphique > Ajouter une courbe de tendance, • Cocher Afficher l'équation sur le graphique et • Cocher Afficher le coefficient de détermination (R^2) sur le graphique <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <table border="1" style="margin-right: 20px;"> <thead> <tr> <th>10pirmean</th> <th>10r_mean</th> <th>15pirmean</th> <th>15r_mean</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,213889874892573</td><td>0,036280196903141</td><td>0,210960372026850</td><td>0,040526723912628</td></tr> <tr><td>0,189336413145065</td><td>0,120443761887387</td><td>0,194445418844952</td><td>0,129209961708335</td></tr> <tr><td>0,26537152983977</td><td>0,082523782811887</td><td>0,266344372545996</td><td>0,08794152822550</td></tr> <tr><td>0,063728307684263</td><td>0,048669476062059</td><td>0,070876489015850</td><td>0,057051190451996</td></tr> <tr><td>0,064599894080311</td><td>0,043735552672297</td><td>0,067644383867874</td><td>0,048328089144300</td></tr> <tr><td>0,225403435472259</td><td>0,143601308079590</td><td>0,235268520225178</td><td>0,146644755618274</td></tr> <tr><td>0,228905479790586</td><td>0,131571305294832</td><td>0,240376002058901</td><td>0,127228618438902</td></tr> <tr><td>0,176278416180249</td><td>0,038520315461908</td><td>0,172838726591935</td><td>0,044357297538367</td></tr> <tr><td>0,136967154751931</td><td>0,108916291168758</td><td>0,140963959197203</td><td>0,110393979867796</td></tr> <tr><td>0,134281843629074</td><td>0,084015124589205</td><td>0,128796598740986</td><td>0,085847756114547</td></tr> <tr><td>0,164729726585475</td><td>0,12326472972415</td><td>0,164720541073216</td><td>0,119813387187812</td></tr> <tr><td>0,069237834272476</td><td>0,05055855242519</td><td>0,076529250247404</td><td>0,057271188008599</td></tr> <tr><td>0,22956282241164</td><td>0,152627726657349</td><td>0,228908417522907</td><td>0,156311344901721</td></tr> <tr><td>0,236989002874272</td><td>0,045358832147043</td><td>0,222410069568201</td><td>0,051921797078677</td></tr> <tr><td>0,223970518490294</td><td>0,044224529954276</td><td>0,217979771847075</td><td>0,051242502321574</td></tr> <tr><td>0,231212832356610</td><td>0,04623005791270</td><td>0,216741145130102</td><td>0,051966960101297</td></tr> <tr><td>0,260179923825809</td><td>0,046061576288000</td><td>0,242123138872440</td><td>0,051152309769328</td></tr> <tr><td>0,199621183061323</td><td>0,127343316194276</td><td>0,194716205948020</td><td>0,129266729246672</td></tr> <tr><td>0,18753396121586</td><td>0,067218818066531</td><td>0,182442965202553</td><td>0,075065204050652</td></tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-end;">   </div> </div>	10pirmean	10r_mean	15pirmean	15r_mean	0,213889874892573	0,036280196903141	0,210960372026850	0,040526723912628	0,189336413145065	0,120443761887387	0,194445418844952	0,129209961708335	0,26537152983977	0,082523782811887	0,266344372545996	0,08794152822550	0,063728307684263	0,048669476062059	0,070876489015850	0,057051190451996	0,064599894080311	0,043735552672297	0,067644383867874	0,048328089144300	0,225403435472259	0,143601308079590	0,235268520225178	0,146644755618274	0,228905479790586	0,131571305294832	0,240376002058901	0,127228618438902	0,176278416180249	0,038520315461908	0,172838726591935	0,044357297538367	0,136967154751931	0,108916291168758	0,140963959197203	0,110393979867796	0,134281843629074	0,084015124589205	0,128796598740986	0,085847756114547	0,164729726585475	0,12326472972415	0,164720541073216	0,119813387187812	0,069237834272476	0,05055855242519	0,076529250247404	0,057271188008599	0,22956282241164	0,152627726657349	0,228908417522907	0,156311344901721	0,236989002874272	0,045358832147043	0,222410069568201	0,051921797078677	0,223970518490294	0,044224529954276	0,217979771847075	0,051242502321574	0,231212832356610	0,04623005791270	0,216741145130102	0,051966960101297	0,260179923825809	0,046061576288000	0,242123138872440	0,051152309769328	0,199621183061323	0,127343316194276	0,194716205948020	0,129266729246672	0,18753396121586	0,067218818066531	0,182442965202553	0,075065204050652
10pirmean	10r_mean	15pirmean	15r_mean																																																																														
0,213889874892573	0,036280196903141	0,210960372026850	0,040526723912628																																																																														
0,189336413145065	0,120443761887387	0,194445418844952	0,129209961708335																																																																														
0,26537152983977	0,082523782811887	0,266344372545996	0,08794152822550																																																																														
0,063728307684263	0,048669476062059	0,070876489015850	0,057051190451996																																																																														
0,064599894080311	0,043735552672297	0,067644383867874	0,048328089144300																																																																														
0,225403435472259	0,143601308079590	0,235268520225178	0,146644755618274																																																																														
0,228905479790586	0,131571305294832	0,240376002058901	0,127228618438902																																																																														
0,176278416180249	0,038520315461908	0,172838726591935	0,044357297538367																																																																														
0,136967154751931	0,108916291168758	0,140963959197203	0,110393979867796																																																																														
0,134281843629074	0,084015124589205	0,128796598740986	0,085847756114547																																																																														
0,164729726585475	0,12326472972415	0,164720541073216	0,119813387187812																																																																														
0,069237834272476	0,05055855242519	0,076529250247404	0,057271188008599																																																																														
0,22956282241164	0,152627726657349	0,228908417522907	0,156311344901721																																																																														
0,236989002874272	0,045358832147043	0,222410069568201	0,051921797078677																																																																														
0,223970518490294	0,044224529954276	0,217979771847075	0,051242502321574																																																																														
0,231212832356610	0,04623005791270	0,216741145130102	0,051966960101297																																																																														
0,260179923825809	0,046061576288000	0,242123138872440	0,051152309769328																																																																														
0,199621183061323	0,127343316194276	0,194716205948020	0,129266729246672																																																																														
0,18753396121586	0,067218818066531	0,182442965202553	0,075065204050652																																																																														
<p>2. Correction des images par rapport à la référence</p>	<p>Retourner dans QGIS</p> <p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur Raster > Calculatrice Raster <p>Dans la calculatrice Raster :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dans le champ de formule, saisir l'équation de la droite de régression correspondant à chaque bande spectrale de l'image à égaliser. La valeur x est remplacée par la bande spectrale. • Nommer le fichier en sortie en ajoutant le suffixe « <code>calib</code> », par exemple <code>annee2_toa_pir_calib.tif</code> 																																																																																



Cette étape doit être réitérée autant de fois qu'il y a de canaux dans l'image cible.

3. Compilation des canaux égalisés

Une fois chaque bande spectrale égalisée, elles sont de nouveau assemblées pour obtenir une image multispectrale.

Dans la **barre des menus** :

- Cliquer sur : **Raster > Divers > Fusionner**

Dans la fenêtre **fusionner** :

- Sélectionner les 3 fichiers raster créés précédemment (annee2_toa_pir_calib.tif, annee2_toa_rouge_calib.tif, annee2_toa_vert_calib.tif)

N.B. L'indexation des bandes correspond à l'ordre de sélection. Ici, l'opérateur sélectionne d'abord le proche infrarouge et finit avec le vert. Donc, la bande 1 est attribuée au proche infrarouge, la bande 2 au rouge et la bande 3 au vert.

- Renseigner le nom et l'emplacement du fichier en sortie, par ex. annee2_calib.tif
- Cocher **Pile de couches**

À la fin, il doit y avoir deux images multi-spectrales : une image de référence (ici, annee1_multi_toa.tif) et une image calibrée (ici, annee2_calib.tif). Chacune comporte trois canaux, dans l'ordre : proche infrarouge, rouge, et vert.

3.4.3 CALCUL DES NDVI ET IMAGE DE CHANGEMENTS

Ce dernier volet de l'étape 1 consiste à synthétiser les informations contenues dans les deux images satellitaires d'origine. Il résulte une image de changements.

3.4.3.1 CALCUL DE L'INDICE NDVI

Le NDVI est calculé d'après l'équation 9 (page 12). Il s'agit d'un indice normalisé dont les valeurs varient entre -1 et 1. Un NDVI proche de 1 traduit une végétation active, proche de 0 un sol nu et, en-dessous de 0 des zones humides ou des plans d'eau.

Démarche	Manipulation sous QGis
1. Calcul du NDVI	<p>Dans QGis :</p> <ul style="list-style-type: none"> Ouvrir les images <code>annee1_toa_rouge.tif</code> et <code>annee1_toa_pir.tif</code> <p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur Raster > Calculatrice Raster <p>Dans la calculatrice Raster :</p> <ul style="list-style-type: none"> Saisir la formule NDVI suivante : <hr/> $\frac{(\text{annee1_toa_pir@1} - \text{annee1_toa_rouge@1})}{(\text{annee1_toa_pir@1} + \text{annee1_toa_rouge@1})}$ <hr/> <ul style="list-style-type: none"> Nommer le fichier en sortie, par exemple : <code>annee1_ndvi.tif</code> <p>Calculer de la même manière le NDVI de l'année suivante.</p>

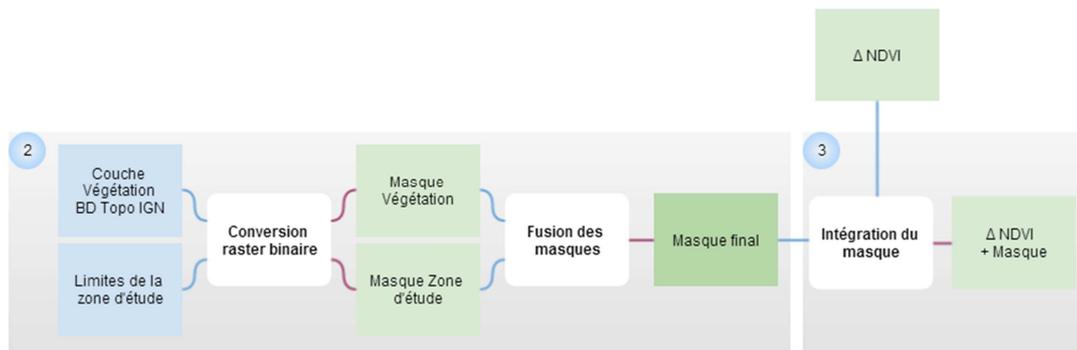
3.4.3.2 CRÉATION DE L'IMAGE DES CHANGEMENTS

L'image des changements est tout simplement la différence des NDVI aux deux dates. Le résultat est une image monochrome. Visuellement, les pixels qui tendent vers le blanc ou le noir traduisent des changements d'occupation du sol. Les teintes grisées correspondent plutôt à des éléments invariants dans le temps.

Démarche	Manipulation sous QGis
1. Vérification des données d'entrée	<p>Sous QGis,</p> <ul style="list-style-type: none"> Vérifier la présence des fichiers suivants : <ul style="list-style-type: none"> <code>annee1_ndvi.tif</code> <code>annee2_ndvi.tif</code> <code>emprise_globale.tif</code>
2. Calcul de l'image de changements	<p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur : Raster > Calculatrice Raster <p>Dans la calculatrice Raster :</p> <ul style="list-style-type: none"> Saisir l'expression suivant : <hr/> $\text{annee2_ndvi@1} - \text{annee1_ndvi@1}$ <hr/>

	<ul style="list-style-type: none"> • Dans le champ Bandes Raster <ul style="list-style-type: none"> ○ Sélectionner <code>emprise_globale@1</code> puis, ○ Cliquer sur le bouton Emprise actuelle de la couche • Enregistrer le fichier sous <code>diff_ndvi.tif</code>
3. Intégration du masque	<p>Dans la calculatrice Raster :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Saisir l'expression suivante : <hr/> $(\text{"emprise_globale@1"} = 1) * \text{"diff_ndvi@1"} + (\text{"emprise_globale@1"} = 0) * -3$ <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Enregistrer le résultat sous <code>diff_ndvi_mask.tif</code> <p>Cette expression peut se lire ainsi : <i>« Si le masque de l'emprise vaut 1 alors je conserve les valeurs de la différence des NDVI, sinon j'affecte la valeur -3. »</i></p> <p>N.B. La valeur -3, en dehors de l'intervalle de la différence des NDVI (compris entre -2 et 2), sert de nodata.</p>
4. Nettoyage de la base de données (facultatif)	<p>À l'issue de l'étape 1, seul le fichier <code>diff_ndvi_mask.tif</code> sera nécessaire dans la suite des traitements. Il est possible de supprimer les fichiers listés ci-dessous :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ <code>annee1_toa_rouge.tif</code> ○ <code>annee1_toa_pir.tif</code> ○ <code>annee2_toa_rouge.tif</code> ○ <code>annee2_toa_pir.tif</code> ○ <code>annee1_ndvi.tif</code> ○ <code>annee2_ndvi.tif</code> ○ <code>emprise_globale.tif</code>
5. Remarque	<p>Si les traitements portent sur des images Landsat ou toute autre image acquise en dehors du programme Geosud, il faut s'assurer que la projection est bien en Lambert 93. Autrement, il faut impérativement changer la projection du fichier <code>diff_ndvi_mask.tif</code> avant de passer aux étapes 2 et 3.</p>

3.5 ÉTAPES 2 & 3 : PRÉPARATION ET INTÉGRATION DES MASQUES



La seconde étape consiste à masquer les pixels situés en dehors de la zone d'étude et des zones boisées. En entrée, les couches vectorielles sont converties en rasters binaires puis fusionnées. Le masque résultant est alors intégré à l'image des changements (la différence des NDVI produite à l'étape 1). Cette étape est obligatoire car la détection des coupes rases se fonde sur les statistiques de la distribution des pixels inclus dans les zones boisées uniquement.

3.5.1 CRÉATION ET FUSION DES MASQUES

Les fichiers vectoriels sont convertis en raster binaire afin d'optimiser les temps de calcul.

3.5.1.1 CRÉATION DU MASQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE

La présente méthode se base sur les limites des sylvo-écorégions. Cependant, il est tout à fait possible d'intégrer d'autres délimitations, territoriales ou écologiques.

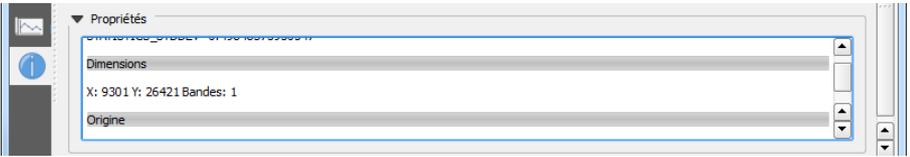
Démarche	Manipulation sous QGis
1. Préparation de la couche vectorielle	<p>Sous QGis,</p> <ul style="list-style-type: none"> Ouvrir la couche vectorielle de la zone d'étude (ici <code>sylvo_ecoregion.shp</code>) <p>Dans la table attributive :</p> <ul style="list-style-type: none"> Activer le mode d'édition en cliquant sur le bouton  Ouvrir la calculatrice de champs en cliquant sur  Dans la calculatrice de champ : <ul style="list-style-type: none"> Créer un nouveau champ en le nommant 'RASTER' Choisir le type Nombre entier avec, Une longueur égale à 1 Dans le champ Expression : <ul style="list-style-type: none"> Saisir 1 Cliquer sur OK Désactiver le mode d'édition en cliquant de nouveau sur 
2. Conversion Raster de la zone d'étude	<p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur Raster > Conversion > Rastériser (vecteur vers raster) <p>Dans la fenêtre Rastériser :</p> <ul style="list-style-type: none"> Choisir le fichier source (shapefile) : <code>sylvo_ecoregion</code> Choisir le Champ d'attribut : RASTER

- Enregistrer le fichier de sortie sous `zone_etude.tif`
- Cliquer sur **Résolution exprimée en unités de la carte par pixel** et,
- Saisir la valeur 5 pour les champs **Horizontal** et **Vertical**.

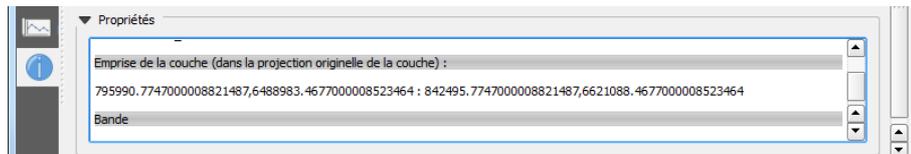
Le fichier en sortie est un raster binaire, codé 1 pour tout pixel situé dans la zone d'étude, 0 pour tout pixel situé en dehors.

3.5.1.2 CRÉATION DU MASQUE FORÊT

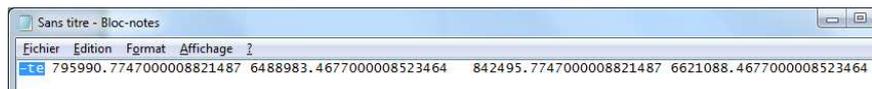
Le masque Forêt est réalisé à partir soit de la BD Topo® IGN (couche végétation), soit de la BD Forêt® IGN. Ces données vectorielles étant livrées par département, il est parfois nécessaire de fusionner ces informations pour couvrir la zone d'étude. Dans ce cas, il est conseillé de convertir chaque couche végétation en raster puis de les assembler dans une mosaïque. Cette approche est moins coûteuse en termes de temps de calcul.

Démarche	Manipulation sous QGIS
1. Préparation de la couche vectorielle	<p>Sous QGIS,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ouvrir la couche vectorielle de la BD Topo Végétation (ici <code>vegetation_ign.shp</code>) <p>Dans la table attributaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Activer le mode d'édition en cliquant sur le bouton  • Ouvrir la calculatrice de champs en cliquant sur  • Dans la calculatrice de champ : <ul style="list-style-type: none"> ○ Créer un nouveau champ en le nommant 'RASTER' ○ Choisir le type Nombre entier avec, ○ Une longueur égale à 1 • Dans le champ Expression : <ul style="list-style-type: none"> ○ Saisir 1 • Cliquer sur OK • Désactiver le mode d'édition en cliquant de nouveau sur  <p><i>N.B. Dans le cas d'une utilisation de la BD Forêt®, il faut supprimer les entités relatives aux landes et aux formations herbacées.</i></p>
2. Récupération des coordonnées de l'emprise de la zone d'étude	<p>L'objectif est de convertir la couche Végétation en un raster qui dispose des mêmes dimensions (étendue, nombre de pixels) que le raster de la zone d'étude.</p> <p>Dans la liste des couches :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Double-cliquer sur <code>zone_etude.tif</code>, la fenêtre des propriétés de la couche s'affiche. <p>Dans la fenêtre des propriétés de la couche :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur l'onglet Métadonnées  <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans le champ Propriétés : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Se positionner sur Dimensions et rechercher la taille (pixels) en lignes et en colonnes. 

- Se positionner sur **Emprise de la couche** et copier les coordonnées.



- Coller les coordonnées dans un bloc-notes par exemple et,
 - remplacer les caractères ',' (virgule) et ':' (deux-points) par un espace.
 - Insérer la commande '-te' au début de la ligne



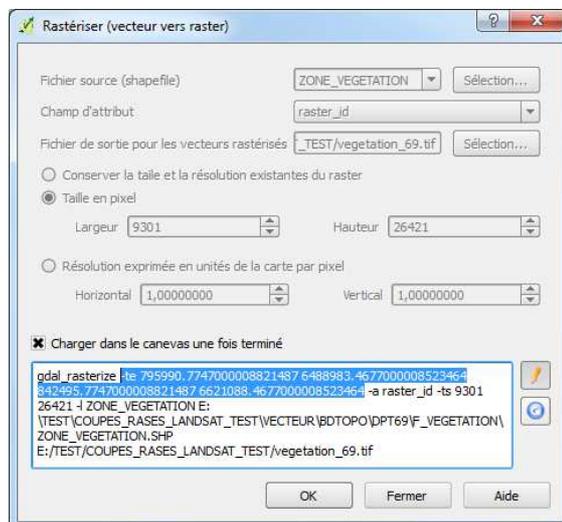
3. Conversion en raster

Dans la **barre des menus** :

- Cliquer sur **Raster > Conversion > Rastériser (vecteur vers raster)**

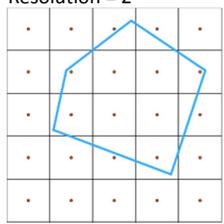
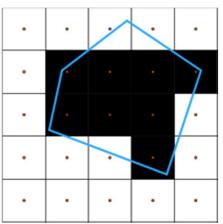
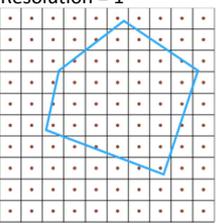
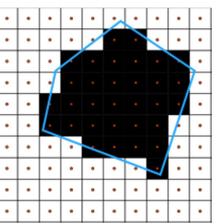
Dans la fenêtre **Rastériser** :

- Choisir le **fichier source (shapefile)** : vegetation_ign
- Choisir le **Champ d'attribut** : RASTER
- Enregistrer le fichier de sortie sous `vegetation.tif`
- Cliquer sur **Taille en pixel** et,
- Saisir les dimensions X (largeur) et Y (hauteur) obtenues précédemment.
- Cliquer sur le bouton **Éditer** pour modifier la ligne de commandes Gdal et,
- Copier/coller la ligne du bloc-notes juste après `gdal_rasterize` (cf. surbrillance dans la figure-ci-dessous)



- Cliquer sur le bouton **OK**

Le fichier en sortie est un raster binaire, codé 1 pour tout pixel attribué aux espaces boisés, 0 pour tout pixel situé en dehors.

	<p>Exemple de conversion raster</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Résolution = 2</p>  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Résolution = 1</p>  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <p><i>N.B. Concernant la conversion en raster proposée par défaut dans Qgis/Gdal, les pixels sont codés 1 car leur centre est situé à l'intérieur des polygones (cf. Figure ci-dessus). Si cette condition n'est pas vérifiée, ils sont codés 0. Ainsi, il est préférable de choisir une résolution spatiale suffisamment fine pour conserver le dessin des entités. La précision planimétrique de la couche végétation étant de 5m (cf. table attributaire), la conversion se cale sur cette échelle.</i></p>
<p>4. Assemblage des fichiers raster Végétation (facultatif)</p>	<p>Dans la barre des menus,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur : Raster > Calculatrice Raster • Saisir l'expression suivante (exemple pour deux rasters Végétation) : <hr/> $"vegetation_dptX@1" + "vegetation_dptY@1" > 0$ <hr/> <p>Où <i>dptX</i> et <i>dptY</i> correspondent aux numéros des départements traités</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nommer le fichier en sortie, par exemple : <code>vegetation_mosa.tif</code>

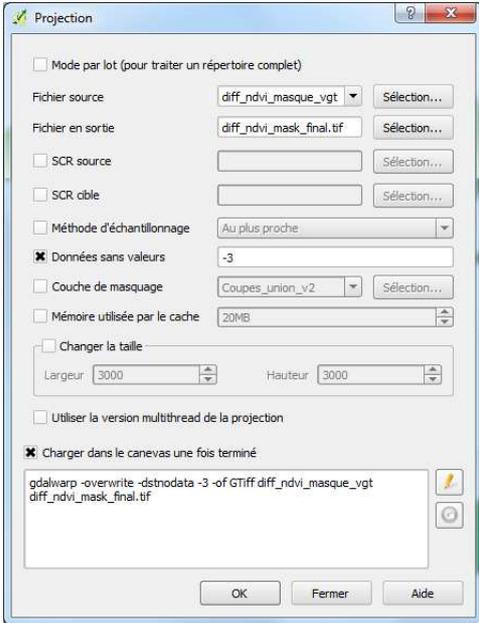
3.5.1.3 FUSION DES MASQUES

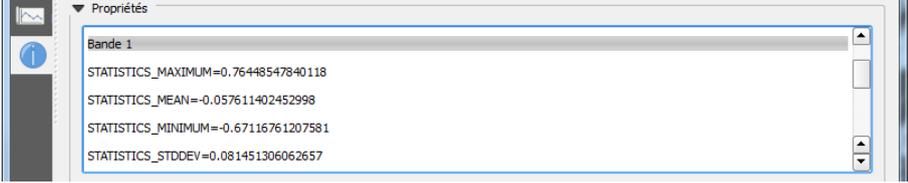
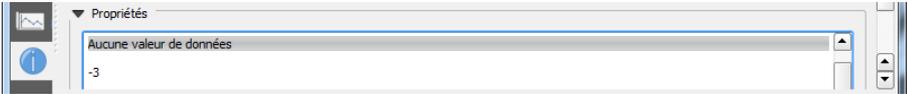
Les masques, une fois créés, sont fusionnés avant d'être appliqués à l'image des changements.

Démarche	Manipulation sous QGis
<p>1. Fusion des masques</p>	<p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur Raster > Calculatrice Raster • Saisir l'expression suivante : <p>Si une seule couche végétation est exploitée :</p> <hr/> $"zone_etude@1" + "vegetation@1" = 2$ <hr/> <p>Si plusieurs couches végétation sont exploitées :</p> <hr/> $"zone_etude@1" + "vegetation_mosa@1" = 2$ <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur Étendue actuelle de la couche en sélectionnant au préalable la bande <code>zone_etude@1</code> • Nommer le fichier en sortie, par exemple : <code>masque_final.tif</code>

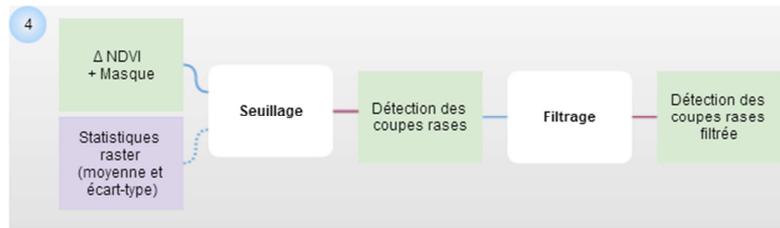
3.5.2 INTÉGRATION DU MASQUE FINAL

Une fois le masque créé, celui-ci est surimposé à l'image des changements.

Démarche	Manipulation sous QGis
1. Vérification des données d'entrée	<p>Sous QGis,</p> <ul style="list-style-type: none"> Vérifier la présence des fichiers suivants : <ul style="list-style-type: none"> diff_ndvi_mask.tif masque_final.tif
2. Intégration du masque	<p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur Raster > Calculatrice Raster Saisir l'expression suivante : <hr/> $(\text{"masque_final@1"} = 1) * \text{"diff_ndvi_mask@1"} + (\text{"masque_final@1"} = 0) * -3$ <hr/> <ul style="list-style-type: none"> Dans le champ Bandes Raster <ul style="list-style-type: none"> Sélectionner masque_final@1 puis, Cliquer sur le bouton Emprise actuelle de la couche Nommer le fichier en sortie, par exemple : diff_ndvi_mask_vgt.tif
3. Spécification de la valeur nodata	<p>A ce stade, l'image est prête. Toutefois la valeur -3 affectée aux pixels non valides n'est pas enregistrée dans l'entête du fichier image. Ce qui fausse les statistiques de l'image.</p> <p>Dans la barre des menus :</p> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur Raster > Projection > Reprojection <p>Dans la fenêtre Convertir :</p> <ul style="list-style-type: none"> Choisir le Fichier source diff_ndvi_mask_vgt.tif Nommer le Fichier en sortie diff_ndvi_mask_final.tif Cocher l'option Données sans valeurs et, <ul style="list-style-type: none"> Saisir la valeur -3 Cliquer sur le bouton OK 
4. Vérification des statistiques	<p>Dans la liste des couches :</p> <ul style="list-style-type: none"> Double-cliquer sur diff_ndvi_mask_final.tif, la fenêtre des propriétés de la couche s'affiche.

	<p>Dans la fenêtre des propriétés de la couche :</p> <ul style="list-style-type: none">• Cliquer sur l'onglet Métadonnées <ul style="list-style-type: none">○ Dans le champ Propriétés :<ul style="list-style-type: none">▪ Se positionner sur Bande 1.  <ul style="list-style-type: none">▪ Vérifier que les valeurs minimum et maximum se situent dans l'intervalle [-2,2]▪ Se positionner sur Aucune valeur de données  <ul style="list-style-type: none">▪ Vérifier que la valeur nodata est bien -3
5. Nettoyage de la base de données (facultatif)	<p>À l'issue des étapes 2 et 3, seul le fichier <code>diff_ndvi_mask_final.tif</code> sera nécessaire dans la suite des traitements. Les masques de la zone d'étude et de la végétation (<code>masque_final.tif</code>) peuvent être appelés dans l'étape finale de qualification. Il est donc possible de supprimer les fichiers listés ci-dessous :</p> <ul style="list-style-type: none">○ <code>zone_etude.tif</code>○ <code>vegetation.tif</code> et/ou <code>vegetation_mosa.tif</code>○ <code>diff_ndvi_mask.tif</code>○ <code>diff_ndvi_mask_vgt.tif</code>

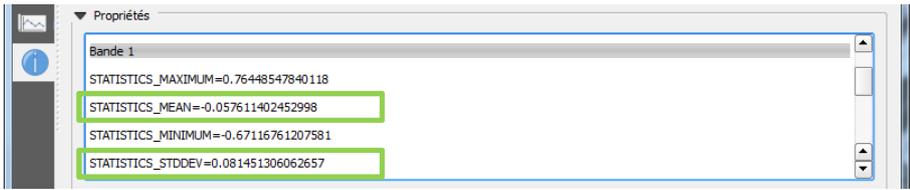
3.6 ÉTAPE 4 : DÉTECTION DES COUPES RASES



L'image des changements issue de la différence des NDVI permet d'identifier les zones invariantes ainsi que les changements affectant l'occupation du sol entre deux dates. Les coupes rases correspondent à un changement dans une direction donnée, soit le passage d'un état végétalisé à un état non végétalisé. Pour extraire cette information, il faut définir l'intervalle de valeurs, autrement dit appliquer un seuillage sur l'image des changements.

3.6.1 SEUILLAGE UNIQUE

Les seuils peuvent être déterminés visuellement ou bien automatiquement en se basant sur les statistiques de l'image (sans tenir compte des pixels masqués). En effet, Le NDVI de la date 1 étant soustrait au NDVI de la date 2, les coupes rases ont par déduction des valeurs proche du minimum.

Démarche	Manipulation sous QGis
1. Récupération des statistiques de l'image des changements	<p>Dans la liste des couches :</p> <ul style="list-style-type: none"> Double-cliquer sur le raster <code>diff_ndvi_mask_final.tif</code>, la fenêtre des propriétés de la couche s'affiche. <p>Dans la fenêtre des Propriétés :</p> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur l'onglet Métadonnées  , <ul style="list-style-type: none"> Dans le champ Propriétés : <ul style="list-style-type: none"> Se positionner sur Bande 1. Noter les valeurs de la moyenne m et de l'écart-type σ.  <p>Si les statistiques ne sont pas visibles,</p> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur Raster > Divers > Information <p>Dans la fenêtre Info</p> <ul style="list-style-type: none"> Indiquer le fichier source et cliquer sur OK, les métadonnées stockées dans l'image apparaissent.

<p>2. Identification des coupes rases par seuillage</p>	<p>La moyenne et l'écart-type permettent de définir les seuils de détection des coupes rases :</p> <ul style="list-style-type: none"> La requête 1 est exprimée ainsi : $requête1 = [-2 < \Delta_{NDVI} < (m - \sigma)]$ <p><u>Calcul de la requête n°1 :</u> Dans la barre des menus,</p> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur : Raster > Calculatrice Raster Saisir la formule suivante : <hr/> <pre>"diff_ndvi_mask_final@1" >= -2 AND "diff_ndvi_mask_final@1" < (m - \sigma)</pre> <hr/> <p>Remplacer m et σ par les valeurs trouvées dans les métadonnées.</p> <ul style="list-style-type: none"> Nommer le fichier en sortie, par exemple : <code>seuil1.tif</code> <p><i>N.B. le résultat de cette requête est une image binaire codée 0 ou 1. Les pixels égaux à 1 répondent à la requête (il s'agit donc des coupes rases).</i></p>
---	---

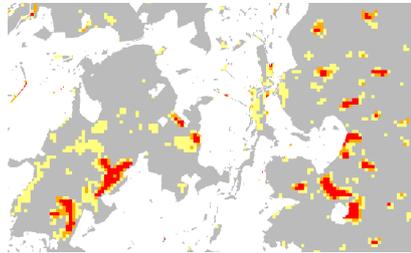
3.6.2 DISCRÉTISATION DES COUPES RASES DÉTECTÉES

La détection des coupes rases, présentée ci-dessus, est une image binaire qui ne permet pas d'analyser plus finement les résultats obtenus. Or, il peut être intéressant d'associer aux pixels positifs, par exemple, un degré de certitude.

Démarche	Manipulation sous QGis
<p>1. Classification des coupes rases</p>	<p>Récupérer les statistiques (moyenne et écart-type) de l'image de changement</p> <p>Le degré de certitude attribué aux coupes rases détectées est calculé comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> Coupes avec degré de certitude faible $degré\ 1 = [(m - 2 * \sigma) \leq \Delta_{NDVI} < (m - \sigma)]$ Coupes avec degré de certitude moyen $degré\ 2 = [(m - 3 * \sigma) \leq \Delta_{NDVI} < (m - 2 * \sigma)]$ Coupes avec degré de certitude fort $degré\ 3 = [-2 \leq \Delta_{NDVI} < (m - 3 * \sigma)]$
<p>2. Identification des coupes rases avec un degré de certitude</p>	<p>Dans la barre des menus,</p> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur : Raster > Calculatrice Raster Saisir la formule suivante : <hr/> <pre>("diff_ndvi_mask_final@1" >= -2 AND "diff_ndvi_mask_final@1" < (m - 3 * \sigma)) * 3 + ("diff_ndvi_mask_final@1" >= (m - 3 * \sigma) AND "diff_ndvi_mask_final@1" < (m - 2 * \sigma)) * 2 + ("diff_ndvi_mask_final@1" >= (m - 2 * \sigma) AND "diff_ndvi_mask_final@1" < (m - \sigma))</pre> <hr/> <p>Remplacer m et σ par les valeurs trouvées dans les métadonnées.</p> <ul style="list-style-type: none"> Nommer le fichier en sortie, par exemple : <code>seuil_degre.tif</code>

Le résultat est un raster dont les valeurs de pixel sont comprises entre 0 et 3.

- 0 = absence de coupes rases
- 1 = coupes avec degré de certitude faible
- 2 = coupes avec degré de certitude moyen
- 3 = coupes avec degré de certitude fort



Valeur	Couleur	Étiquette
0.000000	Blanc	absence de coupes
1.000000	Jaune	coupes rases : certitude faible
2.000000	Orange	coupes rases : certitude moyenne
3.000000	Rouge	coupes rases : certitude forte

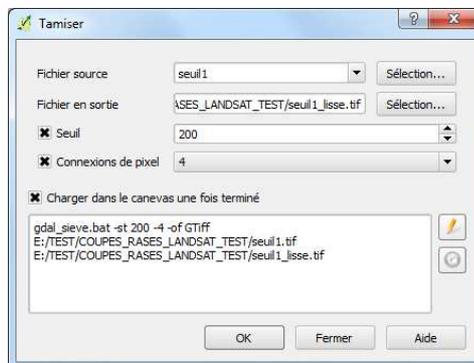
3.6.3 FILTRAGE

À l'issue du seuillage, un raster binaire est créé. Les valeurs codées 1, 2 ou 3 identifient les coupes rases. Toutefois, cette donnée comporte des groupes de pixels dont la superficie est en deçà des spécifications, voire des pixels isolés. Un filtre est donc appliqué pour éliminer ces artéfacts et réduire le nombre d'entités lors de l'export en mode vectoriel.

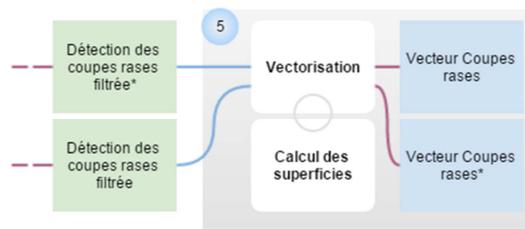
Démarche	Manipulation sous QGis
1. Post-traitements	<p><i>Le filtre GDAL Sieve (Tamiser sous QGis) est appliqué sur les images binaires. Cet outil élimine les objets raster dont la surface (en pixels) est inférieure au seuil spécifié par l'opérateur en remplaçant leur valeur par celle de l'objet voisin le plus grand. Outre sa taille, un objet raster est également défini en fonction de sa connectivité qui exprime la relation d'un pixel avec ses voisins. Celle-ci tient compte ou non des pixels en diagonale, elle aura respectivement une valeur de 8 ou de 4. Ce qui impactera la forme finale des objets suite au filtrage (cf. Figure ci-dessous).</i></p> <div style="text-align: center;"> <p>Résultat de requête en blanc : les coupes, en noir : la forêt</p> <p>4 connexions</p> <p>8 connexions</p> <p>Filtre Sieve : détection des objets à éliminer (en rouge) (seuil = 3 pixels)</p> <p>Filtre Sieve : reclassement des objets</p> </div> <p>Dans la barre de menus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur Raster > Analyse > Tamiser <p>Dans la fenêtre Tamiser :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indiquer le fichier source, par exemple : <code>seuil_degre.tif</code> • Nommer le fichier en sortie, par exemple : <code>seuil_degre_lisse.tif</code> • Saisir un seuil : 200

N.B. À définir en fonction de la résolution de l'image et de la taille minimale recherchée pour les coupes, dans cet exemple la résolution est de 5 m et la taille minimale des coupes est de 0.5ha, soit 200 pixels.

- Indiquer le nombre de **connexions de pixel** : 4



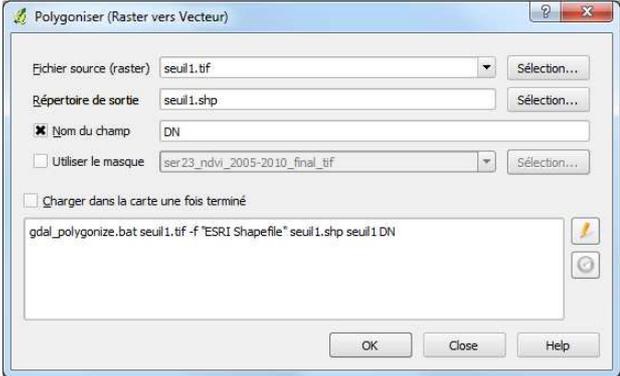
3.7 ÉTAPE 5 : CONVERSION VECTORIELLE



Le fichier des coupes rases détectées est enfin exporté en vecteur. La table attributaire est mise à jour afin d'ajouter la superficie des polygones et, éventuellement les fausses détections dues à la présence de nuages sur les images satellitaires.

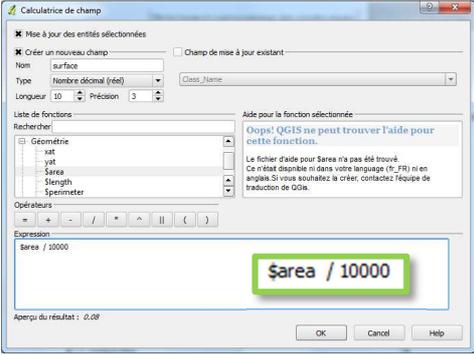
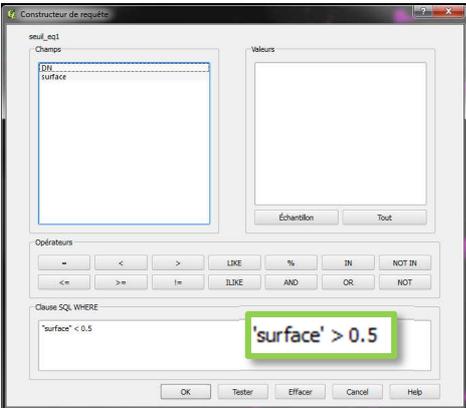
3.7.1 EXPORT VECTORIEL

La conversion du raster en vecteur fait appel à la bibliothèque Gdal, installé par défaut sur QGIS. Cependant l'algorithme proposé n'est pas très performant en termes de temps de traitement. Si possible, préférer d'autres outils tels que Grass (commande `r.to.vect`).

Démarche	Manipulation sous QGIS
1. Export des coupes en mode vecteur	<p>Dans la barre des menus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur Raster > Conversion > Polygoniser (Raster vers Vecteur) <p>Dans la fenêtre Polygoniser (Raster vers Vecteur) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indiquer le fichier source (raster) : <code>seuil_degre_lisse.tif</code> • Nommer le fichier en sortie, par exemple : <code>seuil_degre_lisse.shp</code> • Cocher Nom du champ : DN • Cocher Utiliser le masque et sélectionner : <code>seuil_degre_lisse.tif</code> <i>N.B. Cette option permet de ne pas vectoriser les pixels nuls.</i> • Cliquer sur OK  <pre>gdal_polygonize.bat seuil.1.tif -f "ESRI Shapefile" seuil.1.shp seuil.1 DN</pre> <p>En sortie, la couche contient des polygones. Dans le champ 'DN' de la table attributaire, les coupes rases sont codées en entiers de 1 à 3.</p>
2. Vérification visuelle	<p>Ouvrir les images satellitaires de l'année 2 ainsi que le(s) shapefile(s) créé(s) précédemment (par exemple <code>seuil_degre_lisse.shp</code>).</p> <p>Vérifier visuellement la concordance entre les polygones et les coupes rases visibles sur l'image.</p>

3.7.2 MISE À JOUR DE LA TABLE ATTRIBUTAIRE

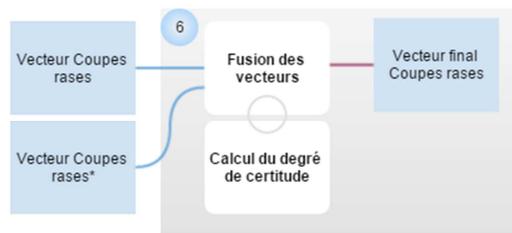
La table attributaire est enrichie d'un nouveau champ : la superficie (en Ha). Ces informations permettent de filtrer la couche vectorielle et, de procéder à des analyses.

Démarche	Manipulation sous QGis
<p>1. Calcul des surfaces des polygones</p>	<p>Ouvrir la table attributaire du vecteur <code>seuil_degre_lisse.shp</code></p> <p>Dans la table attributaire,</p> <ul style="list-style-type: none"> Ouvrir la calculatrice de champs en cliquant sur  <p>Dans la calculatrice de champ :</p> <ul style="list-style-type: none"> Cocher Créer un nouveau champ Indiquer le Nom du champ, par exemple : Surface Définir le Type : Nombre décimal (réel) Indiquer une Précision = 3 (nombre de chiffres derrière la virgule) Dans la liste des fonctions, se positionner sur Géométrie et double-cliquer sur \$area L'aire est par défaut calculée dans le système de mesure de la projection, ici le mètre. Dans le champ Expression, ajouter /10000 pour obtenir un résultat en hectares. Cliquer sur OK 
<p>2. Sélection des entités supérieures à la surface minimale de détection des coupes</p>	<p>Dans la liste des couches,</p> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer-droit sur la couche <code>seuil_degre_lisse.shp</code> et, Sélectionner Requête... <p>Dans la fenêtre Constructeur de requête :</p> <ul style="list-style-type: none"> Double-cliquer sur le champ Surface recensant les superficies des entités de <code>seuil_degre_lisse.shp</code>, Dans le champ de clause SQL WHERE, ajouter > 0.5 (surface minimale souhaitée ici) Cliquer sur OK  <p>Les polygones dont la surface est supérieure à 0.5ha sont sélectionnés.</p>

Dans la **liste des couches**,

- Cliquer-droit sur la couche `seuil_degre_lisse.shp` et,
- Sélectionner **Sauvegarder la sélection sous...**
- Nommer le fichier `coupes_sup05Ha.shp`

3.8 ETAPE 6 : SUPERPOSITION DES COUCHES VECTORIELLES (FACULTATIF)



Les fichiers vectoriels, issus de la détection des coupes rases sur différentes images, sont assemblés à l'aide d'une union géométrique. Lorsque les entités se superposent, les degrés de certitude associés nécessitent d'être recalculés.

3.8.1 FUSION DES VECTEURS

Afin de simplifier l'analyse des coupes rases détectées, les vecteurs peuvent être fusionnés dans un fichier unique. Les outils d'union géométrique proposés dans QGis ne fournissent pas les mêmes résultats. Pour cette étape, Grass est donc préféré.

Démarche	Manipulation sous QGis
1. Activation des outils Grass	<p>Dans la barre des menus, cliquer sur Extension > Installer/Gérer les extensions</p> <p>Dans la fenêtre Extensions :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur l'onglet Toutes <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans le champ Rechercher, saisir <code>processing</code>, ○ Sélectionner l'extension <code>Processing et</code>, • Cliquer sur Fermer <p><i>N.B. L'extension Processing est normalement installée par défaut. Il faut juste l'activer.</i></p> <p>Dans la barre des menus,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur : Traitements > Boîte à outils <p>La fenêtre Boîte à outils de traitements apparaît à droite de l'écran.</p>
2. Union géométrique des couches vectorielles sous Grass	<p>Soit deux couches vectorielles de détection des coupes rases issues de deux images satellitaires (A et B) se chevauchant, et comportant chacune un champ 'DN' (degré de certitude) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <code>Coupes_sup05Ha_A.shp</code> • <code>Coupes_sup05Ha_B.shp</code> <p>Dans la fenêtre Boîte à outils de traitements :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur GRASS commands > Vector > v.overlay – Overlays two vector maps. <p>Dans la fenêtre v.overlay, saisir les paramètres suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Input layer (A) : <code>Coupes_sup05Ha_A.shp</code> • Input layer (A) Type : <code>area</code> • Input layer (B) : <code>Coupes_sup05Ha_B.shp</code> • Operator to use : <code>or</code> • Do not create attribute table : <code>No</code> • Overlay : <code>Coupes_union.shp</code>

*N.B. L'outil de géotraitement **Union** proposé par QGis est déconseillé car les polygones intersectés sont dupliqués n+1 fois, où n représente le nombre de polygones superposés en entrée.*

En sortie, la couche Coupes_union.shp contient au minimum deux champs a_DN et b_DN, issus respectivement des couches Coupes_sup05Ha_A.shp et Coupes_sup05Ha_B.shp.

3.8.2 MISE À JOUR DES DEGRÉS DE CERTITUDE SUR LES ZONES DE RECOUVREMENT

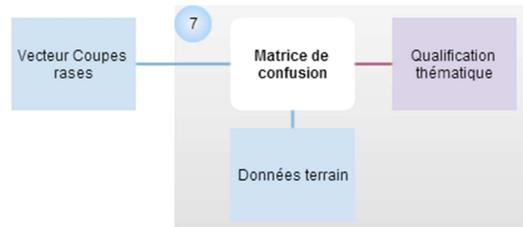
Suite à une union, les entités intersectées récupèrent deux degrés de certitude. Il faut donc recalculer cet indicateur. Deux méthodes sont proposées : la moyenne et la concaténation.

Démarche	Manipulation sous QGis
<p>1. Création d'un champ et calcul du degré de certitude - moyenne</p>	<p>Ouvrir la table attributaire de Coupes_union.shp</p> <p>Dans la table attributaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> Activer le mode édition en cliquant sur  Ouvrir la calculatrice de champs en cliquant sur  Cocher Créer un nouveau champ Indiquer le Nom du champ, par exemple : degre_moy Définir le Type : Nombre décimal (réel) Saisir une Précision égale à 1 Entrer l'expression : <hr/> <pre>CASE WHEN "a_DN" IS NULL THEN "b_DN" WHEN "b_DN" IS NULL THEN "a_DN" ELSE ("a_DN" + "b_DN") / 2.0 END</pre> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> Cliquer sur OK Fermer le mode édition et sauvegarder <p>Le champ degre_moy contient des nombres réels compris entre 1 et 3. Plus cette valeur est élevée, plus la certitude de détection est forte.</p>
<p>2. Création d'un champ et calcul du degré de certitude - concaténation</p>	<p>Ouvrir la table attributaire de Coupes_union.shp</p> <p>Dans la table attributaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> Activer le mode édition en cliquant sur  Ouvrir la calculatrice de champs en cliquant sur  Cocher Créer un nouveau champ Indiquer le Nom du champ, par exemple : degre_conc Définir le Type : Texte (chaîne de caractères) Saisir une Longueur égale à 2 Entrer l'expression : <hr/> <pre>CASE WHEN "a_DN" IS NULL THEN ('0' tostring("b_DN")) WHEN "b_DN" IS NULL THEN (tostring("a_DN") '0') ELSE tostring("a_DN" "b_DN") END</pre> <hr/>

- Cliquer sur **OK**
- Fermer le mode édition et sauvegarder

Le champ `degre_conc` contient des chaînes de caractères `xy`, où `x` représente le degré de certitude du champ `a_DN` et `y` celui du champ `b_DN`. Si `x` ou `y` est nul, alors il n'y a pas de superposition entre les polygones des couches en entrée.

3.9 ÉTAPE 7 : ÉVALUATION DE LA QUALITÉ SÉMANTIQUE



La qualité sémantique d'une classification est mesurée, le plus souvent, à l'aide d'une matrice de confusion. Ce tableau de contingence permet de comparer la classification avec des données de référence. Idéalement, les données de référence sont collectées sur le terrain. Toutefois, elles peuvent être aussi acquises par photo-interprétation sur les images satellitaires traitées.

3.9.1 CRÉATION D'UNE RÉFÉRENCE PAR PHOTO-INTERPRÉTATION

La collecte des données de référence par photo-interprétation n'est pas obligatoire. Néanmoins, cette étape est utile pour évaluer le résultat et, corriger la cartographie des coupes avant toute intervention sur le terrain.

La référence, établie ici à partir du fichier vectoriel des coupes rases détectées, ne permet pas de mesurer l'erreur d'omission (coupes non détectées). La matrice de confusion restitue donc une évaluation de la précision utilisateur et de l'erreur de commission.

Démarche	Manipulation sous QGis
1. Affichage et préparation des images	<p>Trois images sont nécessaires : les images satellitaires correspondant aux deux dates comparées ainsi que le masque Forêt. En effet, lors de la photo-interprétation, il faut saisir des parcelles, situées dans la couche végétation de la BD Topo® IGN (ou BD Forêt® IGN), qui sont passées d'un état arboré à un état sol nu.</p> <p>Sous QGis :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ouvrir les images multi-spectrales des années 1 et 2 • Choisir une composition colorée « proche infrarouge » ou « couleurs naturelles » et, Gérer les contrastes. • Ouvrir le masque Forêt (masque_final.tif) et, • Définir la symbologie comme suit : <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans les propriétés du masque Forêt : ○ Cliquer sur l'onglet Style ○ Choisir le type de rendu Pseudo-couleur à bande unique ○ Sélectionner une interpolation des couleurs Exact ○ Insérer la valeur 0 et, ○ Choisir une couleur neutre (par exemple le gris) ○ Cliquer sur les boutons Appliquer et OK

2. Création d'un fichier vectoriel de référence

Cette étape consiste à réaliser une sélection aléatoire et stratifiée sur la couche vectorielle des coupes rases détectées et ce, en fonction du champ 'DN'. Par défaut, 100 polygones par type sont sélectionnés, ce qui assure un équilibre entre la représentativité statistique et le temps de photo-interprétation. Ceci dit, la littérature scientifique recommande au minimum 50 points de contrôle.

Sous **QGIS** :

- Ouvrir le fichier vecteur des coupes rases détectées `Coupes_sup05Ha.shp`

Dans la barre des menus :

- cliquer sur **Vecteur > Outils de recherche > Sélection aléatoire dans les sous-parties**

Dans la fenêtre **Sélection aléatoire dans les sous-parties** :

- Indiquer la **Couche vectorielle en entrée** : `Coupes_sup05Ha.shp`
- Choisir le **Champ de saisie de sous-ensemble** : `DN`
- Cocher l'option **Nombre d'entités** et saisir la valeur `100`
- Cliquer sur le bouton **OK**

Dans la liste des couches :

- Cliquer-droit sur le vecteur des coupes rases détectées `Coupes_sup05Ha.shp` et,
- Sélectionner **Sauvegarder la sélection sous ...**
- Enregistrer le fichier sous le nom `reference.shp`

Fermer la couche `Coupes_sup05Ha.shp` et,

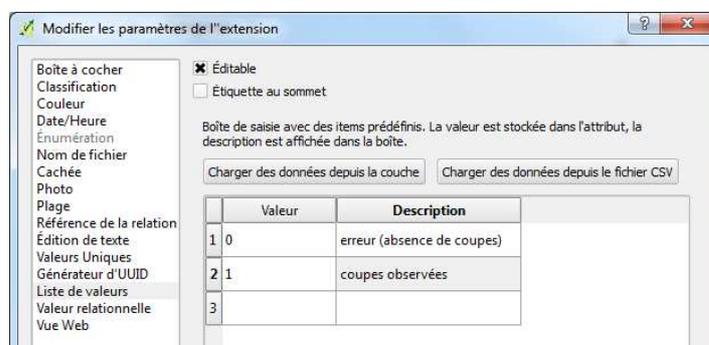
Ouvrir le fichier vectoriel `reference.shp`

Dans la liste des couches :

- Cliquer-droit sur `reference.shp` et sélectionner **Propriétés**

Dans la fenêtre **Propriétés de la couche** :

- Cliquer sur l'onglet **Champs**
- Cliquer sur le bouton **Basculer en mode d'édition** 
- Cliquer sur le bouton **Nouvelle colonne**  et configurer comme suit :
 - Nom : `reference`
 - Type : `Nombre entier`
 - Largeur : `1`
- Fermer le mode édition en cliquant de nouveau sur le bouton  et, **Enregistrer**.
- Pour tous les champs attributaires, excepté le champ `reference`, cliquer sur le bouton **Edition de ligne** et décocher le mode **Editable**
- Pour le champ `reference`, cliquer sur le bouton **Edition de ligne**
- Dans le **dialogue d'édition d'attribut « reference »** :
- Choisir `Liste de valeurs`, une table avec deux colonnes apparaît
- Saisir les valeurs `0` et `1`, avec en description `erreur (absence de coupes)`, et `coupes observées`



3. Configuration des outils cartographiques

Les étapes 3 et 4 sont facultatives. Elles proposent une configuration de QGIS pour renseigner plus aisément la table attributaire de la couche de référence.

Dans la barre des menus :

- Cliquer sur **Préférences > Options...**

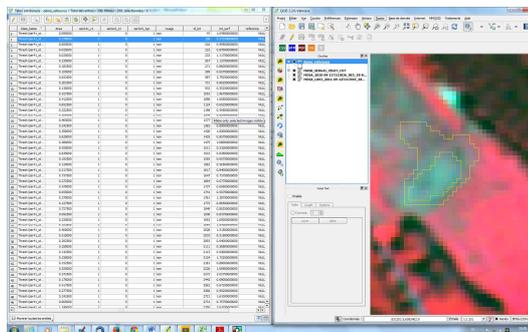
Dans la fenêtre **Options** :

- Cliquer sur l'onglet **Style**
- Choisir le **type de symbole** : Bordure : Ligne simple
- Cliquer sur l'onglet **Outils cartographiques**
- Cocher l'option **Ouvrir le formulaire si une seule entité est identifiée**
- Cliquer sur l'onglet **Numérisation**
- Dans le champ **Symbole de sommet**, cocher l'option **Montrer les symboles uniquement pour les entités sélectionnées**
- Cliquer sur le bouton **OK**

4. Photo-interprétation

Organisation des fenêtres de travail à l'écran :

- Ouvrir la table attributaire du fichier `reference.shp`.
- Positionner la table attributaire à gauche de l'écran, l'interface cartographique à droite.



Dans la table attributaire (à gauche) :

- Basculer en mode édition en cliquant sur le bouton 
- Cliquer sur la première ligne de la table attributaire puis,
- Cliquer soit sur le bouton  (Déplacer la carte sur les lignes sélectionnées), soit sur le bouton  (Zoomer la carte sur les lignes sélectionnées)

Dans l'interface cartographique (à droite) :

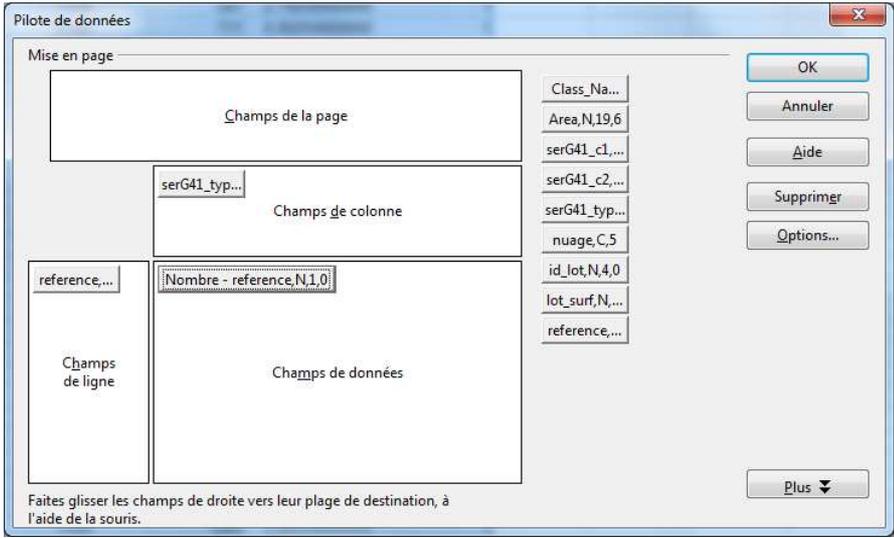
- Cliquer sur le bouton  (identifier les entités) et,
- Cliquer sur le polygone sélectionné, un formulaire s'affiche.
- Sélectionner la classe correspondant à la nature de la coupe observée.

De la même manière, photo-interpréter tous les objets du vecteur `reference.shp` en sauvegardant régulièrement.

*N.B. QGIS propose une extension, **Item Browser**, dédiée à la mise à jour des entités vectorielles. Cet outil permet de se positionner automatiquement sur l'entité ciblée et d'accéder aux champs éditables via un formulaire. Toutefois, il n'est pas possible d'afficher les objets sélectionnés avec un fond transparent.*

3.9.2 CONSTRUCTION DE LA MATRICE DE CONFUSION

Bien que certains outils de QGIS permettent de produire automatiquement la matrice de confusion, la procédure est décrite ici à l'aide d'un tableur afin de bien comprendre la construction de ce tableau et la signification des précisions et erreurs associées.

Démarche	Manipulation sous QGIS																																																																																																
<p>1. Construction de la matrice de confusion</p>	<p>Ouvrir un tableur (par exemple LibreOffice Calc)</p> <p>Sous LibreOfficeCalc :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ouvrir la table attributaire (fichier avec extension .dbf) de <i>reference.shp</i> • Enregistrer la table au format .ods • Cliquer sur Données > Table de pilote > Créer... • Conserver la sélection active et cliquer sur OK • Dans la fenêtre du Pilote de données, insérer dans : <ul style="list-style-type: none"> ○ Champs de colonne : la colonne DN (détection effective des coupes rases) <i>N.B. Pour cet exemple, seuls les degrés 2 et 3 sont conservés et associés à la valeur 1 (coupes observées) de la référence.</i> ○ Champs de ligne : la colonne <i>reference</i> (vérification par photo-interprétation) ○ Champs de données : la colonne <i>reference</i> (Options... > Nombre) 																																																																																																
<p>2. Calcul des indicateurs de précision et d'erreur</p>	<p>Copier/coller la table résultante dans une nouvelle feuille afin d'y apporter certaines modifications (cf. § 2.4, page 15).</p> <table border="1" data-bbox="513 1657 1161 2004"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>G</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td colspan="7" style="text-align: center;">Matrice de confusion – effectif</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td colspan="4" style="text-align: center;">classification</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>1</td> <td>total</td> <td>précision producteur (%)</td> <td>erreur d'omission (%)</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>18</td> <td>18</td> <td>0,0%</td> <td>100,0%</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td>1</td> <td>0</td> <td>82</td> <td>82</td> <td>100,0%</td> <td>0,0%</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td>total</td> <td>0</td> <td>100</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>reference</td> <td>précision utilisateur (%)</td> <td>100,0%</td> <td>82,0%</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> <td>erreur de commission (%)</td> <td>0,0%</td> <td>18,0%</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td></td> <td>précision globale (%)</td> <td>82,0%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>0 = erreur de détection 1 = détection correcte</p>		A	B	C	D	E	F	G	1	Matrice de confusion – effectif							2								3			classification					4			0	1	total	précision producteur (%)	erreur d'omission (%)	5		0	0	18	18	0,0%	100,0%	6		1	0	82	82	100,0%	0,0%	7		total	0	100	100			8	reference	précision utilisateur (%)	100,0%	82,0%				9		erreur de commission (%)	0,0%	18,0%				10								11		précision globale (%)	82,0%				
	A	B	C	D	E	F	G																																																																																										
1	Matrice de confusion – effectif																																																																																																
2																																																																																																	
3			classification																																																																																														
4			0	1	total	précision producteur (%)	erreur d'omission (%)																																																																																										
5		0	0	18	18	0,0%	100,0%																																																																																										
6		1	0	82	82	100,0%	0,0%																																																																																										
7		total	0	100	100																																																																																												
8	reference	précision utilisateur (%)	100,0%	82,0%																																																																																													
9		erreur de commission (%)	0,0%	18,0%																																																																																													
10																																																																																																	
11		précision globale (%)	82,0%																																																																																														

Les précisions et erreurs sont calculées de la façon suivante :

• Précision globale	
○ $C11 = 100 * (C5 + D6) / E7$	
• Précision utilisateur	• Erreur de commission
○ $C8 = 100 * C5 / C7$	○ $C9 = 100 - C8$
○ $D8 = 100 * D6 / D7$	○ $D9 = 100 - D8$
• Précision producteur	• Erreur d'omission
○ $F5 = 100 * C5 / E5$	○ $G5 = 100 - F5$
○ $F6 = 100 * D6 / E6$	○ $G6 = 100 - F6$

N.B. De la même manière, la matrice de confusion peut être calculée en fonction des superficies.

4 FIGURES ET TABLEAUX

4.1 FIGURES

© Irstea – UMR Tetis

FIGURE 1. ÉTAPES DU PROCESSUS D'EXTRACTION DES COUPES RASES	7
FIGURE 2. MOUVEMENTS DU SATELLITE ET DÉFORMATIONS OCCASIONNÉES SUR LES IMAGES	8
FIGURE 3. ERREURS GÉOMÉTRIQUES LIÉES AU RELIEF ET À LA COURBURE TERRESTRE	8
FIGURE 4. SIMULATIONS DES PRODUITS SPOT4 (TAKE 5) À PARTIR D'IMAGES FORMOSAT-2 (SOURCE : THEIA).....	11
FIGURE 5. EXEMPLE DE NORMALISATION RELATIVE	12
FIGURE 6. SIGNATURES SPECTRALES DE LA VÉGÉTATION ET DU SOL.....	12
FIGURE 7. NDVI AU DATES D1 ET D2 ET DIFFÉRENCE DES NDVI	13
FIGURE 8. ASSEMBLAGE DES VECTEURS DE COUPES RASES DÉTECTÉES	15
FIGURE 9. RÉPARTITION TEMPORELLE DES ACQUISITIONS DE LA COUVERTURE RAPID'EYE 2010.....	16
FIGURE 10. CHAÎNE DE TRAITEMENTS	20
FIGURE 12. ÉGALISATION RADIOMÉTRIQUE	28

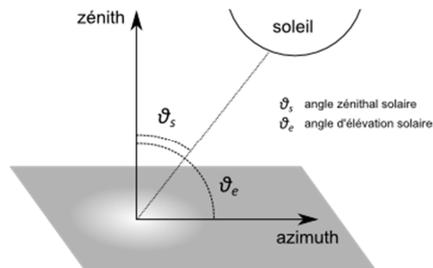
4.2 TABLEAUX

TABLEAU 1. COUVERTURES SATELLITAIRES MISES À DISPOSITION PAR LES PROGRAMMES GMES ET GEOSUD.....	6
TABLEAU 2. CARACTÉRISTIQUES DES CAPTEURS UTILISÉS	6
TABLEAU 3. DISTANCE TERRE-SOLEIL (UA) EN FONCTION DU JOUR JULIEN.	10
TABLEAU 4. EXEMPLE DE MATRICE DE CONFUSION.....	16
TABLEAU 5. JEUX DE DONNÉES EN ENTRÉE DE LA CHAÎNE DE TRAITEMENTS.....	18

5 ANNEXES

5.1 GLOSSAIRE DES TERMES TECHNIQUES

Angle zénithal solaire : *angle entre la droite du soleil et la verticale par rapport à un point situé sur la surface terrestre, complémentaire de l'angle d'élevation solaire.*



© Irstea – UMR Tétis

Bande spectrale : *canal d'une image correspondant à un intervalle de longueurs d'onde dans le spectre électromagnétique. Par exemple, RapidEye a cinq bandes spectrales : le bleu, le vert, le rouge, le rededge et le proche infrarouge.*

Canal : *un fichier image est parfois constitué de plusieurs canaux, retranscrivant chacun une information différente. Par exemple, une photographie numérique couleur dispose de trois canaux : le bleu, le vert et le rouge. Voir bande spectrale.*

Capteur : *dispositif embarqué sur le satellite qui recueille et mesure le rayonnement incident provenant de la surface observée.*

Coefficient de calibration absolue : *paramètre permettant de convertir les comptes numériques d'une image en énergie (luminance).*

Compte numérique : *codage du pixel en bits traduisant la mesure du rayonnement enregistré et converti en signal électrique par le capteur.*

Indice de végétation : *image monochromatique issue de la combinaison arithmétique des réflectances de deux bandes spectrales au moins permettant d'identifier les propriétés particulières de la végétation. Par exemple, le NDVI résulte d'une différence entre le proche infrarouge et le rouge.*

Luminance : *quantité d'énergie (intensité), par unité de surface et selon une direction donnée. Elle s'exprime en $W.m^{-2}.sr^{-1}$ (watt par mètre carré par stéradian).*

Multispectral : *une image multispectrale est un enregistrement simultané du rayonnement réfléchi par la surface terrestre à des intervalles de longueurs d'onde spécifiques dans le spectre électromagnétique, notamment entre le visible et l'infrarouge. Chaque canal de l'image correspond donc à une longueur d'onde. Par exemple une image multispectrale SPOT 5 comporte 4 canaux : le vert ($0.50\sim 0.59\mu m$), le rouge ($0.61\sim 0.68\mu m$), le proche infrarouge ($0.78\sim 0.89\mu m$) et le moyen infrarouge ($1.58\sim 1.75\mu m$).*

NDVI : *(Normalized Difference Vegetation Index), voir indice de végétation.*

Normalisation radiométrique relative : *méthode statistique permettant de réduire sur les images satellitaires les effets de changement des conditions atmosphériques en l'absence d'accès aux paramètres atmosphériques.*

Panchromatique : une image panchromatique est un enregistrement global du rayonnement réfléchi par la surface terrestre dans la gamme des longueurs d'onde du spectre visible sans séparation des couleurs. Par exemple, une image panchromatique SPOT 5 est acquise entre 0.48 et 0.71 μ m. Cette donnée est plus résolue spatialement que l'image multispectrale acquise par un même satellite.

Prétraitement : technique d'amélioration d'images nécessaire avant l'analyse et l'extraction de l'information. Le prétraitement intègre généralement les corrections radiométriques et géométriques.

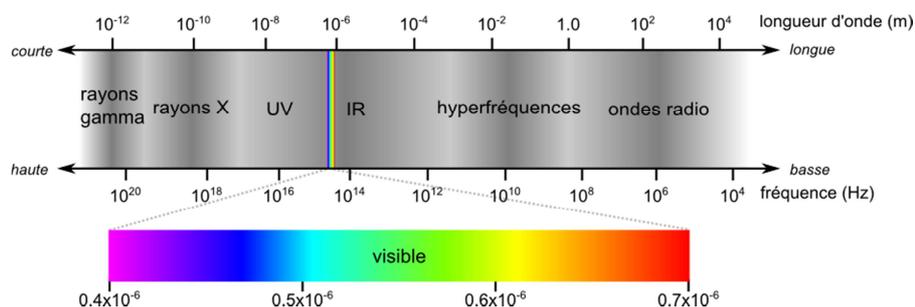
Réflectance : proportion de lumière incidente (éclairage solaire) réfléchi par la surface terrestre. Elle s'exprime en pourcentage.

Résolution radiométrique : décrit la capacité d'un capteur de distinguer de petites différences dans l'intensité de l'énergie reçue. Le nombre maximum de niveaux d'intensité dépend du nombre de bits utilisés. Par exemple, une image RapidEye est codée en 16 bits soit 65536 valeurs numériques disponibles pour retranscrire l'intensité enregistrée ; une image SPOT est codée en 8 bits soit 256 valeurs numériques.

Résolution spatiale : taille des pixels (dans l'unité du système de projection) de l'image satellitaire, par exemple les images RapidEye et IRS ont respectivement une résolution spatiale de 5 et 20m.

Résolution spectrale : décrit la finesse d'une bande spectrale utilisée par un capteur. Plus la résolution spectrale est fine, plus les fenêtres des différents canaux du capteur sont étroites.

Spectre électromagnétique : séquence continue d'énergie électromagnétique conçue en fonction des longueurs d'onde ou des fréquences.



© Irstea - UMR Tetis

Téledétection : mesure ou acquisition d'informations sur un objet ou un phénomène, par l'intermédiaire d'un instrument de mesure à distance. La téledétection satellitaire intègre aussi les traitements numériques appliqués aux images.

5.2 MANIPULATIONS COMPLÉMENTAIRES SOUS QGIS

Cette annexe recense des techniques fréquemment utilisées sous QGIS pour manipuler plus aisément les images satellitaires.

5.2.1 GESTION DU CONTRASTE DES IMAGES

Par défaut, QGIS affiche l'image sans améliorations des contrastes. L'image apparaît très sombre voire bruitée. Impossible de procéder à une interprétation visuelle dans ces conditions.

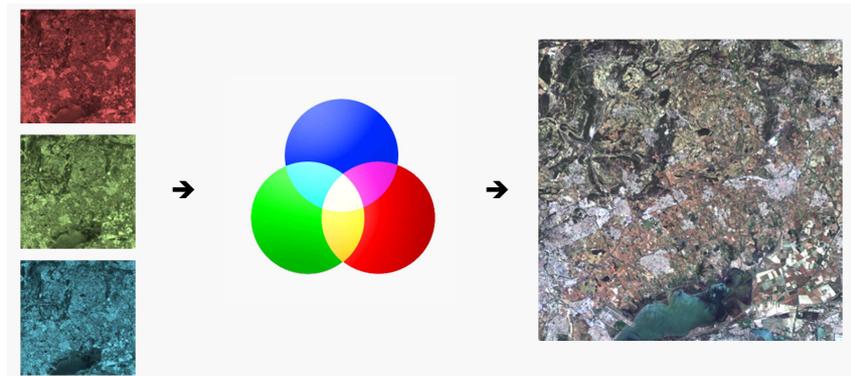
L'adaptation de dynamique permet d'améliorer la lisibilité d'une image à l'écran sans affecter les valeurs numériques contenues dans le fichier. Elle applique une loi de transcodage (LUT = look-up table) pour passer des valeurs numériques d'un plan image aux valeurs numériques affichées à l'écran et ce, afin d'améliorer le contraste et l'intensité de l'image. Plusieurs méthodes sont proposées par QGIS.

Démarche	Manipulation sous QGIS
1. Gestion automatique des contrastes en fonction des valeurs extrêmes	<p>Dans la barre d'outils</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur Vue > Zoom sur l'étendue ou cliquer sur  <p>Dans la barre d'outils :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur  (Étendre l'histogramme à tout le jeu de données) <p>Cet outil calcule les valeurs minimale et maximale des pixels sur l'ensemble de l'image et ce, pour chacune des bandes spectrales. Toutes les valeurs inférieures ou égales au minimum sont affichées à 0 (noir), toutes les valeurs supérieures ou égales au maximum sont affichées à 255 (blanc). Les valeurs comprises entre le minimum et le maximum sont « étalées » entre 0 et 255. Généralement, le contraste obtenu est faible et ne permet pas de distinguer correctement les différents types d'occupation du sol.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zoomer sur une partie de l'image et, • Cliquer sur  (Histogramme de l'étendue locale) <p>Cet outil fonctionne de la même manière que le précédent, en tenant compte des valeurs minimales et maximales. Toutefois, ces valeurs sont cette fois-ci calculées dans l'emprise de la fenêtre de visualisation.</p>
2. Gestion manuelle des contrastes en fonction des valeurs extrêmes	<p>Afin de bien comprendre les contrastes opérés par les outils de gestion automatique, il est possible de reproduire « manuellement » les mêmes résultats que ceux obtenus dans l'étape précédente.</p> <p>1. Que fait  ?</p> <p>Dans la liste des couches</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer-droit sur l'image et, • Sélectionner Propriétés <p>Dans la fenêtre Propriétés de la couche,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur l'onglet Style  <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans la zone Charger les valeurs min/max <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cocher Min/max ▪ Choisir l'emprise Complète ▪ Choisir la précision Estimée ▪ Cliquer ensuite sur le bouton Charger

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Dans le champ Amélioration de contraste <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sélectionner Étirer jusqu'au MinMax • Cliquer sur Appliquer et OK <p>2. Que fait  ?</p> <p>Zoomer sur une partie de l'image présentant un très faible contraste (rendu quasi noir)</p> <p>Dans la liste des couches</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer-droit sur l'image et, • Sélectionner Propriétés <p>Dans la fenêtre Propriétés de la couche,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur l'onglet Style  <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans la zone Charger les valeurs min/max <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cocher Min/max ▪ Choisir l'emprise Actuelle ▪ Choisir la précision Estimée ▪ Cliquer ensuite sur le bouton Charger ○ Dans le champ Amélioration de contraste <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sélectionner Étirer jusqu'au MinMax • Cliquer sur Appliquer et OK
<p>3. Gestion automatique des contrastes en excluant les valeurs extrêmes</p>	<p>L'utilisation des valeurs extrêmes pour améliorer le contraste d'une image est souvent insatisfaisante. L'inconvénient étant qu'elle ne tient pas compte de la distribution des valeurs des pixels.</p> <p>Dans la barre d'outils</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur Vue > Zoom sur l'étendue ou cliquer sur  <p>Dans la barre d'outils :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur  <p>Cet outil déduit les bornes d'étalement de la dynamique grâce à l'histogramme cumulé (taux de pixels ayant une valeur inférieure à un niveau d'intensité donné) calculé sur l'ensemble de l'image. Par défaut, il positionne la valeur minimale et la valeur maximale à 2% et 98% respectivement.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zoomer sur une partie de l'image et, • Cliquer sur  <p>Cet outil fonctionne de la même manière que le précédent, en tenant compte uniquement de la distribution des valeurs de pixels dans l'emprise de la fenêtre de visualisation.</p>
	<p>Cette méthode de rehaussement est également reproductible manuellement dans les propriétés de la couche. Une dernière méthode, disponible sous QGIS, utilise la moyenne et l'écart-type de l'image.</p>

5.2.2 COMPOSITIONS COLORÉES

Une composition colorée est la combinaison optique (synthèse additive) d'images multi-bande par projection de celles-ci au travers de filtres rouge, vert et bleu. Elle permet de produire une image en couleurs en tenant compte des signatures spectrales des objets observés. Ce mode de représentation met en évidence certains types d'occupation du sol ou phénomènes environnementaux. Il est donc très utile pour contrôler visuellement les résultats de la méthode de détection des coupes rases.



Il est possible d'afficher différentes compositions colorées, parmi les plus connues :

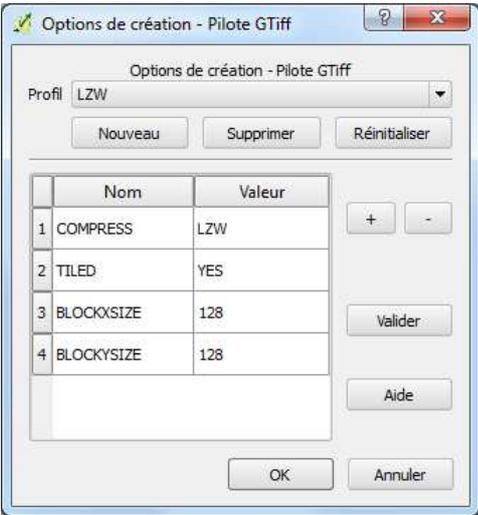
- Composition en couleurs naturelles :
 - Filtre rouge : bande rouge
 - Filtre vert : bande verte
 - Filtre bleu : bande bleue
- Composition en couleurs infrarouges :
 - Filtre rouge : bande proche infrarouge
 - Filtre vert : bande rouge
 - Filtre bleu : bande verte

Démarche	Manipulation sous QGis
1. Affichage d'une composition colorée	<p>Dans la liste des couches</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer-droit sur l'image et, • Sélectionner Propriétés <p>Dans la fenêtre Propriétés de la couche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur l'onglet Style  <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans la zone Rendu par bande <ul style="list-style-type: none"> ▪ Changer l'ordre des bandes spectrales de manière à afficher une composition « couleurs naturelles » puis une composition « couleurs infrarouges » ○ Gérer les contrastes (cf. §5.2.1) • Cliquer sur Appliquer et OK
2. Configuration des options de rendu	<p>Pour simplifier la gestion de l'affichage des images satellitaires, il est possible de configurer une composition colorée par défaut ainsi que l'application d'un contraste.</p> <p>Dans la barre de menu,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur Préférences > Options...

	<p>Dans la fenêtre Options,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur l'onglet Rendu  <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans la zone Rasters <ul style="list-style-type: none"> ▪ Affecter au Rouge, au Vert et au Bleu les bandes utiles pour une composition en couleurs naturelles ou infrarouge (<i>par exemple pour RapidEye, la composition colorée infrarouge est la suivante : Rouge : bande 5, Vert : bande 3, Bleu : bande 2</i>) ▪ Sélectionner Étirer jusqu'au MinMax ▪ Sélectionner, par exemple, le calcul des Limites (Minimum / Maximum) en Moyenne +/- écart-type ▪ Saisir un Multipliateur de l'écart-type égal à 2 • Cliquer sur OK
--	---

5.2.3 COMPRESSION DES IMAGES

Les images satellitaires, souvent volumineuses, peuvent être compressées. Cette manipulation est recommandée pour des machines disposant d'un espace de stockage réduit.

Démarche	Manipulation sous QGIS
1. Configuration des options de compression	<p>Dans la barre de menu</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur Préférences > Options... <p>Dans la fenêtre Options</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur l'onglet GDAL  <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans les Options des pilotes GDAL <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sélectionner le format GTiff et, ▪ Cliquer sur le bouton Modifier les options de création ○ Dans la fenêtre Options de création – Pilote GTiff <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cliquer sur le bouton Nouveau ▪ Saisir LZW comme nom de profil <i>N.B. LZW est un algorithme de compression sans perte.</i> ▪ Cliquer sur le bouton + et insérer les options indiquées sur la figure ci-dessous : <div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cliquer sur les boutons Valider et OK • Cliquer sur le bouton OK pour fermer la fenêtre des options

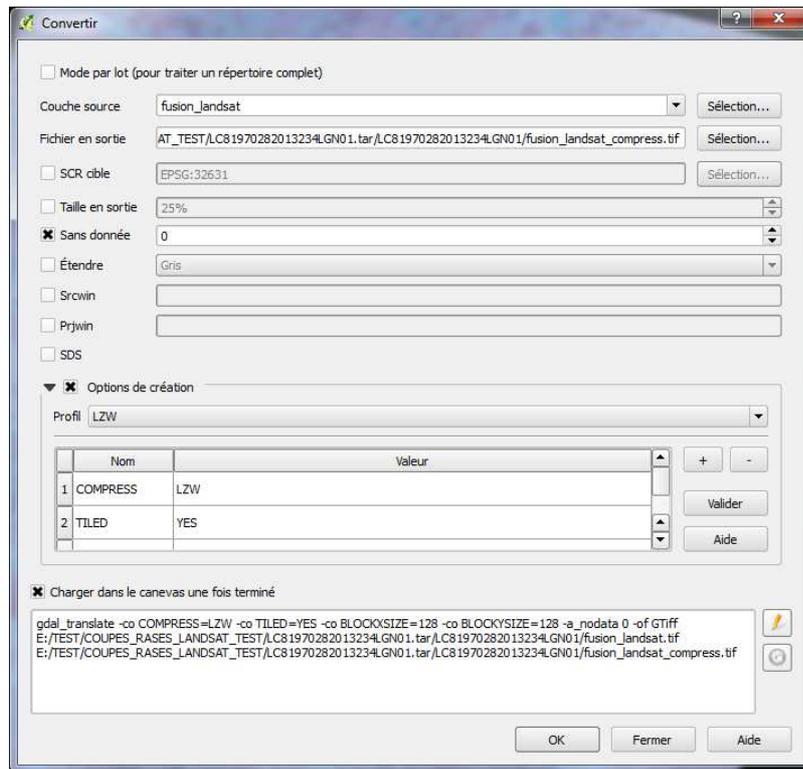
2. Exemple de compression d'une image satellitaire

Dans la barre de menu

- Cliquer sur **Raster > Conversion > Convertir**

Dans la fenêtre **Convertir**

- Sélectionner l'image en entrée
- Choisir un nom de **Fichier en sortie**
- Cocher **Sans donnée** et attribuer la valeur 0 (facultatif)
- Cocher **Options de création** et
- Sélectionner le **profil LZW** (créé précédemment)



- Cliquer sur le bouton **OK**

Cet exemple traite une image Landsat 8 avec 3 bandes spectrales. Le poids initial du fichier est de 357 Mo. Après compression, il passe à 299 Mo, soit un gain d'environ 16%.

5.3 PRÉSENTATION TETIS AU COPIL DU 23 AVRIL 2012



Détection des coupes rases sur la période 2005-2011

DRAAF Rhône-Alpes
Lyon
23 avril 2012

K. Ose, M. Deshayes, A. Jolivot, A. Desbrosse
UMR Tets - Irstea



2. Spécifications

Spécifications techniques

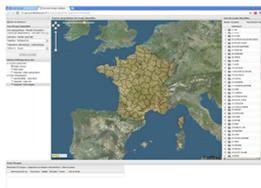
- Années de référence :
 - 2005, 2010, 2011, 2012 et
 - si possible 2006
- Deux sylvo-écorégions :
 - G23 – Morvan et Auvergne
 - G41 – Bordure Nord-Est du Massif Central – Beaujolais
- Contenu thématique :
 - Détection des coupes rases entre deux années successives
 - Distinction entre coupes rases feuillues et coupes rases résineuses



3. Disponibilité des images satellitaires

Programmes de mutualisation des données satellitaires

- EQUIPEX GEOSUD
 - Consortium 11 membres / 14 tutelles (dont Irstea-UMR TETIS)
 - Objectif : Développement d'une infrastructure nationale d'imagerie satellitaire pour la recherche sur l'environnement et les territoires et ses applications à la gestion et aux politiques publiques.
- Mode de diffusion :
 - Portail Web de consultation et de téléchargement des images disponibles
 - www.geosud.teledetection.fr



RapidEye 2010 - France



1. Contexte et objectifs

Contexte

- Demande du MAAPRAT, des DRAAF Rhône-Alpes et Bourgogne
- Cartographie et suivi temporel des coupes rases en France

Comment évaluer les surfaces coupées ?

- Photographies aériennes + photo-interprétation
 - Avantages : précision, résolution spatiale ≤ 50cm
 - Inconvénients : chronophage, faible répétitivité des couvertures aériennes (~5 ans pour la BD Ortho)
- Imagerie satellitaire
 - Avantages : forte répétitivité, nouvelles stratégies de mutualisation
 - Inconvénients : données multi-capteur, résolution spatiale ≥ 5m, absence de méthodes « clefs en main »

Etude de faisabilité

- UMR TETIS : Définition et mise en œuvre d'une méthodologie de détection des coupes rases sur deux sites.



2. Spécifications

Spécifications techniques

- Précision géographique :
 - UMC = 1 Ha
 - Précision planimétrique : 5-10 m
- Précision thématique :
 - Taux omission/commission < 10% en surface
- Système de projection :
 - RGF93 – Lambert 93



3. Disponibilité des images satellitaires

Programmes de mutualisation des données satellitaires

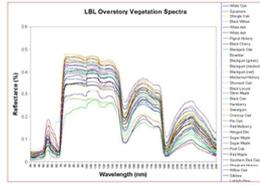
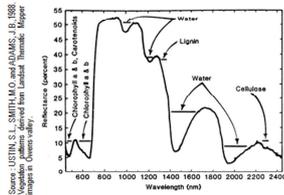
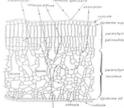
- GMES/ESA
 - GMES-GSCDA : Composante spatiale GMES d'accès aux données
 - Objectif : Fournir, entre autres, un accès complet et structuré aux données acquises par le GMES afin de faciliter et promouvoir l'utilisation des images satellitaires en Europe
- Couvertures satellitaires disponibles (2 par année) :
 - Couverture Europe 2006 (IRS-P6, Spot 4, Spot 5)
 - Couverture Europe 2009 (IRS-P6, Spot 4, Spot 5)
 - Couverture Europe 2011 (RapidEye, IRS-P6) *en cours d'acquisition/traitement...*
- Portail Web de consultation et de téléchargement des images disponibles
 - earth.esa.int/EOL/EOLi.html
- Programme ESA Sentinel 2 ?



4. Propriétés spectrales de la végétation

Interaction entre le rayonnement et la végétation

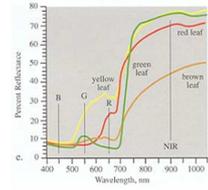
- 3 phénomènes :
 - Absorption + Réflexion + Transmission
- Propriétés optiques fondamentales des organes végétaux :
 - Domaine du Visible : Absorption importante (pigments foliaires)
 - Domaine du proche Infrarouge : Transmission + Réflexion élevée
 - Domaine du moyen Infrarouge : Absorption (eau de constitution des tissus végétaux)
- Des réponses spectrales proches entre espèces arborées :
 - Exemple des espèces arborées américaines



4. Propriétés spectrales de la végétation

Variabilité des réponses spectrales

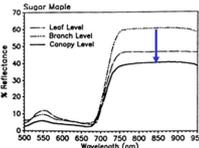
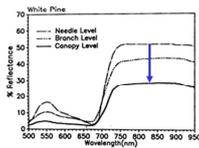
- Echelle de la feuille
 - Structure anatomique des limbes, teneur en eau, état physiologique et phytosanitaire, coloration, âge...
 - Sénescence : disparition rapides des pigments chlorophylliens
 - accroissement de la réflectance/transmittance dans le rouge (pIR - stable)
 - si dessèchement, désorganisation de la structure foliaire et baisse de la réflectance dans le proche infrarouge



4. Propriétés spectrales de la végétation

Variabilité des réponses spectrales

- Echelle de la plante et du peuplement
 - Structure du couvert : organisation spatiale, effet de productivité, densité, etc.
 - Interférences sol-végétation : effet de la réflectance de la surface des sols dans le cas de végétation éparse
 - Phénologie : variabilité des réponses spectrales en fonction des saisons et stades phénologiques
 - Réflectance moindre par rapport à l'échelle de la feuille



- Facteurs liés à la prise de vue
 - Angle solaire
 - Angle de visée
 - Résolution spatiale
 - Composition de l'atmosphère

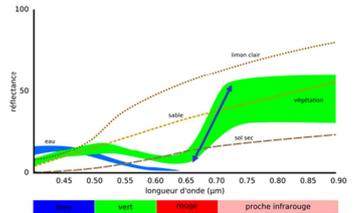


4. Propriétés spectrales de la végétation

Signatures spectrales de la végétation et du sol

- Des réponses différenciées
- Indice de végétation :
 - Tirer parti du comportement de la végétation dans les domaines du rouge (R) et du proche infrarouge (pIR).
 - NDVI : Indice de Végétation Normalisé :

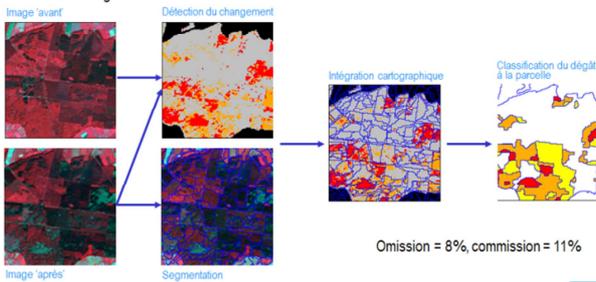
$$\frac{pIR - R}{pIR + R}$$
 (-1 < NDVI < +1)



5. Quelques exemples

Cartographie des dégâts de tempête

- 26 et 28 décembre 1999 : ouragans Lothar et Martin
 - Dégâts considérables aux forêts : 138 millions de m³
- Réalisation d'une étude de faisabilité « express » : 1 mois sur 2 sites
- Méthodologie :



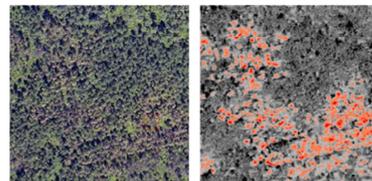
16/71



5. Quelques exemples

Cartographie des attaques de scolytes

- Attaque de coléoptères xylophages
 - Mort des arbres par arrêt de la circulation de la sève
 - Rougisement des houppiers
- Forêt des Landes : développement des scolytes suite à la tempête de janvier 2009
- Détection « délicate », plusieurs types d'hétérogénéités
 - Dégâts tempête, exploitation, processionnaires, et scolytes...



5. Quelques exemples

- Impact des incendies du 30 août 2010 au Nord de Montpellier
 - Acquisition de deux images Spot 5 (21.08.08 et 03.09.10)
 - Détection des zones incendiées avec NDVI → 2112,5 Ha brûlés
 - Intersection avec la BD OccSol2006 (SIG-LR)

6. Détection des coupes rases

- Prétraitements et méthode de détection

6. Détection des coupes rases

- 1. Acquisition des couvertures satellitaires
 - Couverture 2005 : GEOSUD Spot rés. Spatiale : 10m
 - Couverture 2006 : ESA/GMES IRS+Spot rés. Spatiale : 10-20m
 - Couverture 2009 : ESA/GMES IRS+Spot rés. Spatiale : 10-20m
 - Couverture 2010 : GEOSUD RapidEye rés. Spatiale : 05m
 - Couverture 2011 : ESA/GMES RapidEye+IRS rés. Spatiale : 05-20m
- Contraintes d'une analyse diachronique multi-capteur :
 - Hétérogénéité des résolutions spatiales
 - Hétérogénéité des résolutions spectrales (Spot/IRS : V, R, pIR, mIR ; RapidEye : B, V, R, rededge, pIR)
 - Etalement des acquisitions sur plusieurs mois...
- Comment comparer ?

6. Détection des coupes rases

- 2a. Prétraitements géométriques
 - Couverture Spot 2005 « brute »
 - Création d'un chantier de spatio-triangulation et, Orthorectification des scènes.
- 2b. Prétraitements radiométriques
 - Transformation en réflectance apparente (TOA)
 - Normalisation de la valeur du signal afin de rendre comparables les images de réflectance entre elles
 - Développement de scripts pour automatiser cette tâche sur les données Spot, RapidEye et IRS
 - Normalisation radiométrique inter-scène
 - Recours à la méthode des invariants.
 - Calibration entre scènes d'une même année
 - Mosaïque des scènes (i.e. une mosaïque par couverture)
 - Calibration entre mosaïques

7. Détection des coupes rases

- 3. Détection des changements
 - Principe :
 - 2 images : 'avant' et 'après'

7. Détection des coupes rases

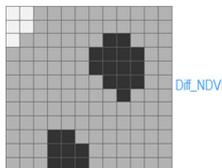
- 3. Détection des changements
 - Principe :
 - 2 images : 'avant' et 'après'
 - Calcul des NDVI :
 - $(pIR - R) / (pIR + R)$
 - $-1 < NDVI < 1$



7. Détection des coupes rases

3. Détection des changements

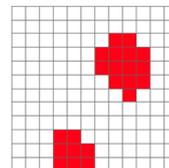
- Principe :
 - 2 images : 'avant' et 'après'
 - Calcul des NDVI :
 - $(pIR - R) / (pIR + R)$
 - $-1 < NDVI < 1$
 - Différence des NDVI
 - $Diff_NDVI = NDVI\ 'après' - NDVI\ 'avant'$
 - $-2 < Diff_NDVI < 2$
 - $\rightarrow 0$ = invariant
 - $\rightarrow -2$ = coupes
 - $\rightarrow +2$ = nouvelle plantation



7. Détection des coupes rases

3. Détection des changements

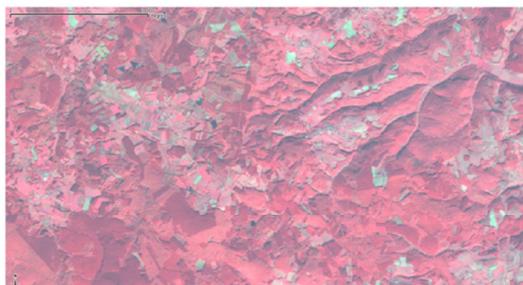
- Principe :
 - 2 images : 'avant' et 'après'
 - Calcul des NDVI :
 - $(pIR - R) / (pIR + R)$
 - $-1 < NDVI < 1$
 - Différence des NDVI
 - $Diff_NDVI = NDVI\ 'après' - NDVI\ 'avant'$
 - $-2 < Diff_NDVI < 2$
 - $\rightarrow 0$ = invariant
 - $\rightarrow -2$ = coupes
 - $\rightarrow +2$ = nouvelle plantation
 - Extraction des coupes
 - Seuillage sur Diff_NDVI
 - Export en mode vectoriel



7. Détection des coupes rases

3. Détection des changements

- Image 2005 (composition colorée proche infrarouge)



7. Détection des coupes rases

3. Détection des changements

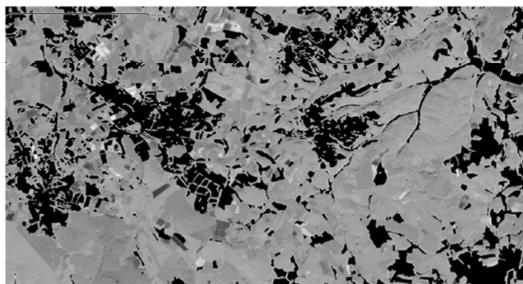
- Image 2010 (composition colorée proche infrarouge)



7. Détection des coupes rases

3. Détection des changements

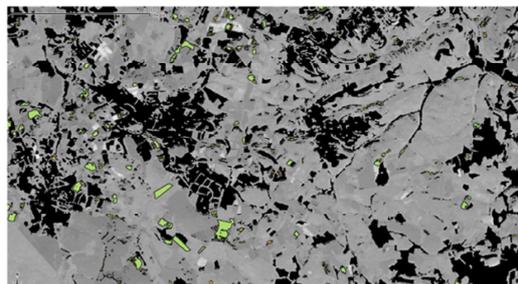
- Différence des NDVI + masque forêt (BD Topo® IGN)



7. Détection des coupes rases

3. Détection des changements

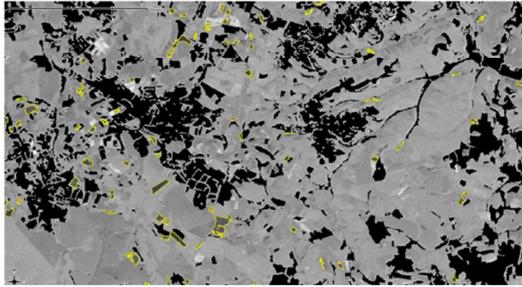
- Seuillage des valeurs négatives + export en mode vectoriel
 - Changement de forêt à coupes rases





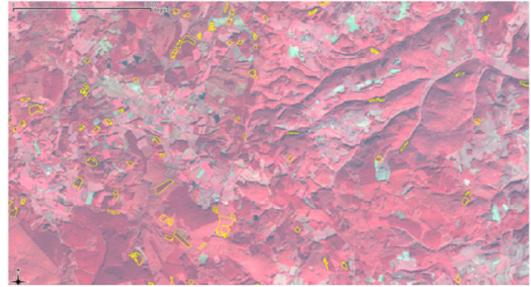
7. Détection des coupes rases

- 3. Détection des changements
 - Suppression des entités < 0,5 Ha



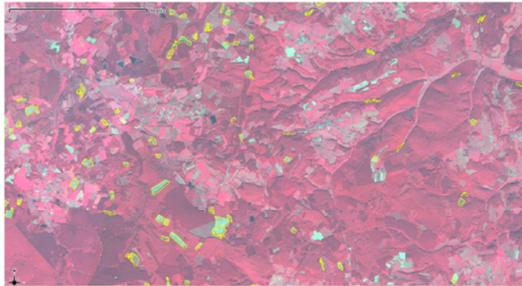
7. Détection des coupes rases

- 3. Détection des changements
 - Contrôle visuel
 - Image 2005



7. Détection des coupes rases

- 3. Détection des changements
 - Contrôle visuel
 - Image 2010



8. Conclusion

• Discussion et perspectives...

- Détection des changements 2005-2010 menée sur l'ensemble des deux SER G23 et G41
 - Qualité sémantique < 10% (omission/commission), à confirmer...
 - Des confusions plus fortes dans les résineux, les ombres
- Classification en parallèle des feuillus/résineux
 - Méthode à améliorer et à formaliser
- Traitements à venir : détection des changements sur les couvertures ESA/GMES
 - Couvertures 2006, 2009 prêtes à l'emploi – traitements prévus courant Mai 2012
 - Correction radiométrique
 - Détection des changements + export en mode vectoriel
 - Couverture 2011 non finalisée à ce jour (orthorectification)



