

Outils de traitement des images satellites dans le cadre de l'estimation des émissions de carbone dues à la déforestation et à la dégradation des forêts.



Préparé par Bruno COMBAL, Klara Janouskova et Hugh EVA
Centre Commun de Recherche, Commission Européenne, Ispra, Italie

Activités de l'atelier

| | |
|--|-----------|
| 1. Les images de satellites d'observation de la Terre | 3 |
| 2. Le logiciel Impact Toolbox | 4 |
| 3. Importer des images satellites | 4 |
| 4. Traitements d'images | 6 |
| 5.1. Combinaisons de bandes spectrales | 6 |
| 5.1.1. ND(V,W,S,I) tool | 7 |
| 5.1.2. Raster calculator | 8 |
| 5.2. Classifications | 13 |
| 5.3. Classification automatique | 13 |
| 6. K-Means (K-moyennes) et PCA (Analyse en Composante Principale) | 13 |
| 6.1. Principe | 13 |
| 6.2. Recoder le k-means | 15 |
| 7. Linear Spectral unmixing (séparation spectrale linéaire) | 17 |
| 8. Détection de changements | 18 |
| 8.1. Détection de coupes forestières | 19 |
| 8.1.1. Détection de changement | 19 |
| 8.1.2. Masque de forêt | 19 |
| 8.2. Détection d'exploitations minières | 22 |
| 9. CarbEF: Estimation des émissions de carbones dues à la déforestation et à la dégradation | 26 |
| 9.1. La carte de changement | 27 |
| 9.2. Création d'une carte de la biomasse aérienne | 28 |
| 9.3. La carte d'exception | 29 |
| 9.3. Estimation des émissions de carbone | 29 |

Note sur les exercices

Ce guide utilise des données, disponibles dans 4 répertoires distincts. Ils contiennent les images satellites nécessaires à la réalisation des exercices : vous trouverez au début de chaque exercice le nom des données à utiliser. Ces données sont disponibles depuis notre serveur, sous deux formes : image brutes complètes (à importer avec la fonction d'importation), ou une zone plus petite (et donc un fichier plus petit à télécharger) découpée par nos soins sur l'image initiale. Notez que les images extraites n'ont pas besoin d'être importées dans Impact au moyen de la fonction d'importation, il vous suffit de décompresser dans le répertoire DATA d'Impact.

Note: cet atelier a été réalisé avec la version 4.2.2 de Impact toolbox.

1. Les images de satellites d'observation de la Terre

Nous nous intéressons ici aux satellites d'orbite basses polaires (par opposition aux satellites géostationnaires). Ces satellites passent au dessus du même point après un certain nombre d'orbites, ce qui définit la fréquence de revisite. Pour Landsat 8 elle est de 16 jours, et pour Sentinel elle est de 5 jours avec deux satellites (S2-A et S2-B).

Les propriétés comme la résolution au sol des images et le nombres de bandes spectrales est une propriété des capteurs embarqués.

Pour Landsat 8, le capteur OLI offre 11 bandes, avec des résolutions au sol de 30m pour le visible et le "SWIR" (Short wave infrarouge) et de 100m pour les bandes dans l'infrarouge thermique, et 15m pour la bande panchromatique.

Pour Sentinel 2, les capteurs MSI fournissent des images hyperspectrales (13 bandes), avec différentes résolutions en fonction de la bande spectrale, soit 10m, 20m et 60m.

Nous verrons à la section 5 plus de détails sur les propriétés spectrales.

Landsat OLI

| Band Number | µm | Résolution |
|-------------|-------------------------------|------------|
| 1 | 0.433–0.453, bleu profond, UV | 30 m |
| 2 | 0.450–0.515, bleu | 30 m |
| 3 | 0.525–0.600, vert | 30 m |
| 4 | 0.630–0.680, rouge | 30 m |
| 5 | 0.845–0.885, PIR | 30 m |
| 6 | 1.560–1.660, SWIR 1 | 30 m |
| 7 | 2.100–2.300, SWIR 2 | 30 m |
| 8 | 0.500–0.680, pan-chromatique | 15 m |
| 9 | 1.360–1.390, nuages | 30 m |
| 10 | 10.6–11.2, Infrarouge therm 1 | 100 m |
| 11 | 11.5–12.5, Infrarouge therm 2 | 100 m |

Sentinel 2 MSI

| Resolution (m) | Band number | Central wavelength (nm) | Band width (nm) |
|----------------|-------------|-----------------------------|-----------------|
| 10 | 2 | 496.6 (bleu) | 98 |
| | 3 | 560 (vert) | 45 |
| | 4 | 664.5 (rouge) | 38 |
| | 8 | 835.1 (PIR) | 145 |
| 20 | 5 | 703.9 (red edge) | 19 |
| | 6 | 740.2 (red edge) | 18 |
| | 7 | 782.5 (red edge) | 28 |
| | 8a | 864.8 (vegetation red edge) | 33 |
| | 11 | 1613.7 (SWIR) | 143 |
| 60 | 12 | 2202.4 (SWIR) | 242 |
| | 1 | 443.9 (aerosols) | 27 |

| | | |
|----|--------------------|----|
| 9 | 945 (vapeur d'eau) | 26 |
| 10 | 1373.5 (cirrus) | 75 |

2. Le logiciel Impact Toolbox

Le logiciel IMPACT Toolbox a été développé au JRC, dans le cadre du projet ReCaREDD. Il fonctionne sous Windows. Le logiciel est conçu de manière à faciliter le traitement des données Landsat et Sentinel-2, et reconnaît différentes versions de leurs formats.

Vous pouvez le télécharger ici:

<http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/software/impact.php>

Vous trouverez sur cette même page une série d'exercices avec leur données, prêts au téléchargement.

Au lancement, le logiciel contacte notre serveur pour vérifier si des mises à jour sont disponibles. Une mise à jour ne requiert pas de télécharger l'intégralité du logiciel, mais seulement les éléments qui ont été modifiés depuis la dernière version, afin de ne pas consommer une trop grande bande passante internet.

NOTE: le logiciel ouvre une fenêtre MS-DOS. Le logiciel requiert que cette fenêtre reste ouverte (sa fermeture met fin aux fonctions d'Impact).

En cas de problème logiciel, ou de suggestion, vous pouvez contacter le développeur principal: dario.simonetti@ec.europa.eu, ou Hugh Eva (hugh.eva@ec.europa.eu), leader du groupe des activités pour l'Afrique.

Nous allons procéder à l'installation du logiciel sur vos PC, puis à une visite guidée de ses fonctionnalités, avant de débiter la revue des fonctionnalités et les cas d'étude.

3. Importer des images satellites

Dans les exercices suivants, les images satellites vous seront fournies. Si vous souhaitez en obtenir de nouvelles, vous pouvez utiliser les sites suivants:

- EarthExplorer, pour les images Landsat: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- JRC CID portal, pour les images sentinel:
<https://cidportal.jrc.ec.europa.eu/forobs/sentinel.py>

Ce qu'il faut savoir :

Les fichiers d'imagerie satellite sont généralement des fichiers conteneurs compressés (tar.gz, zip, etc.) qui contiennent plusieurs fichiers : les fichiers images et des méta-informations relatives à la prise de vue et à l'image elle-même, et autres fichiers auxiliaires.

Tous ces fichiers ont des formats spécifiques, c'est-à-dire que l'information qu'ils contiennent est représentée de différentes manières. De plus, ces formats ont évolué dans le temps. Importer une image satellite brute dans son SIG peut se révéler relativement complexe.

Impact Toolbox fait ce travail pour vous. Pour chaque type d'image, il applique les fonctions de décodages ad-hoc et transforme la donnée brute en image geotiff projetée.

- LANDSAT: plus de 15 formats de métadonnées et leur paramètres de conversion des comptes numériques en réflectances (en particulier pour Landsat 4 et 5 qui ont connu une dégradation des capteurs en cours de mission), qui ont changé au cours des missions;
- Sentinel-2: 3 formats de métadonnées et la structure du fichier conteneur de l'image.

Le logiciel est régulièrement mis à jour, afin de suivre l'évolution des formats. Si le format de vos données Landsat ou Sentinel-2 n'est pas reconnu, n'hésitez pas à nous contacter.

Ce qu'Impact fait pour vous :

- Interprète le format des fichiers;
- ainsi que le format des données (Byte, Int, float);
- Offre de convertir les images Landsat en TOA, reflectances, CN;
- Permet de clipper les images (découper une zone d'intérêt), de sélectionner des bandes, de changer la projection;
- Réalise de nombreuses opérations d'amélioration, classification, segmentation;
- Offre le module CarbEF d'estimation des émissions de carbone.

ATTENTION

Le processus d'importation offre de ne retenir que certaines bandes. Avant de combiner les bandes spectrales, il est essentiel de vérifier quelles bandes ont été retenues par le processus d'importation. Pour cela, ouvrez le panneau d'information du fichier. Au bas du panneau, vous trouverez la liste des bandes importées à la fin, sous le nom : Impact_bands.

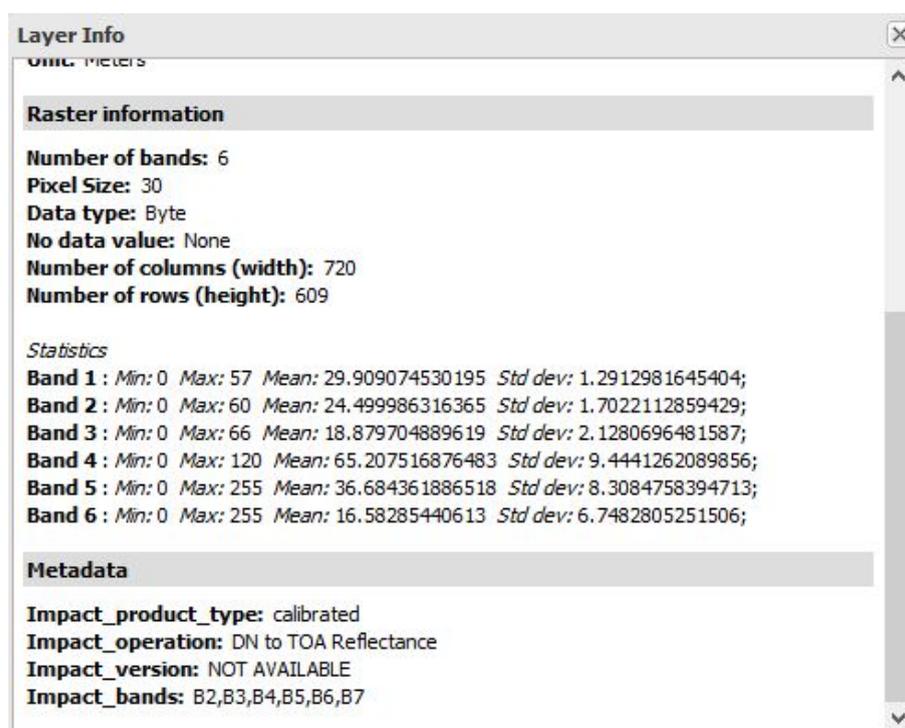


Image 1: L'outil d'information d'un fichier raster vous donne la liste des bandes du raster et leur nom d'origine.

Exemple d'importation de données :

[Données.1_ACTIVITÉ à télécharger depuis](http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/software/impact.php)

<http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/software/impact.php>

- Importons la série d'image satellites Landsat, dans le répertoire activité (LC08_L1TP_182061_20160618_20170323_01_T1.tar.gz et LC08_L1TP_182061_20161211_20170316_01_T1.tar.gz). Impact vous permet de sélectionner plusieurs images dans son interface d'importation;
- Définissez vos choix dans l'interface : DN, TOA;
- Je vous recommande de toujours utiliser le format de date YYYYMMDD. Quel est son intérêt par rapport à DDMMYYYY?;
- Affichez les images: changez l'affichage (visualisation options);

- Ces images vous sont-elles familières, savez-vous les interpréter?
- Vous pouvez créer un sous-répertoire dans IMPACT/DATA, par exemple /IMPACT/DATA/activite, puis déplacer vos images à l'intérieur soit à l'aide de l'interface d'IMPACT, soit depuis Windows.
- les bandes individuelles sont disponibles sous forme compressée (.gz), ainsi que la bande "pansharpening". Vous pouvez supprimer ces fichiers, si vous le souhaitez et ne conserver que le fichier tif de l'import et le fichier de méta-information MTL.

Notez que chaque fois qu'une image est créée dans Impact ou déplacée depuis Windows, Impact analyse cette image, en particulier pour en extraire ses statistiques par bandes, et faciliter son affichage.

4. Traitements d'images

4.1. Combinaisons de bandes spectrales

La figure ci-dessous représente une signature spectrale typique de la végétation. Pouvez-vous commenter cette signature?

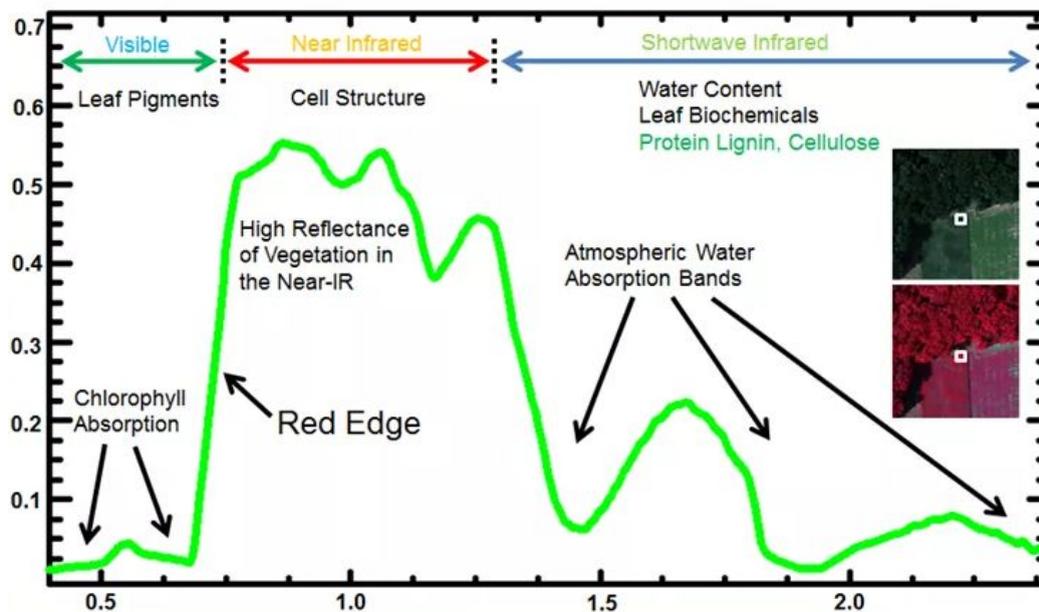


Image 2: Signature spectrale typique d'un couvert végétal.

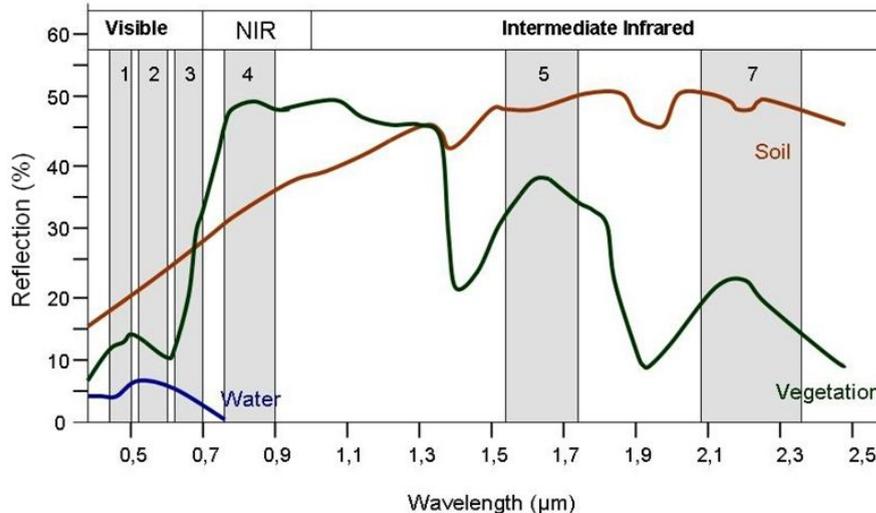


Image 3: Signatures spectrales typiques d'un couvert végétal, d'un sol nu et de l'eau.

La signature spectrale change avec le type de cible (sol nu, végétation, eau, nuages, surfaces artificielles), avec l'évolution de la cible, mais aussi avec les conditions d'observation (angle d'éclairement du soleil, de la prise de vue, turbidité de l'atmosphère). Ne perdez jamais de vue que la signature spectrale d'un pixel est la combinaison de tous les éléments composant la scène couverte par un pixel. Par exemple, un pixel de couvert végétal combine la signature du fond (le sol, nu ou en herbe) et de la végétation qui pousse dessus. Suivant l'état de développement de la végétation, la contribution du sol dans la signature du pixel est plus ou moins importante. Un pixel sur un lac a la signature spectrale de l'eau, mais aussi du fond si l'eau est peu profonde, et des matériaux qui se trouvent dans l'eau (turbidité).

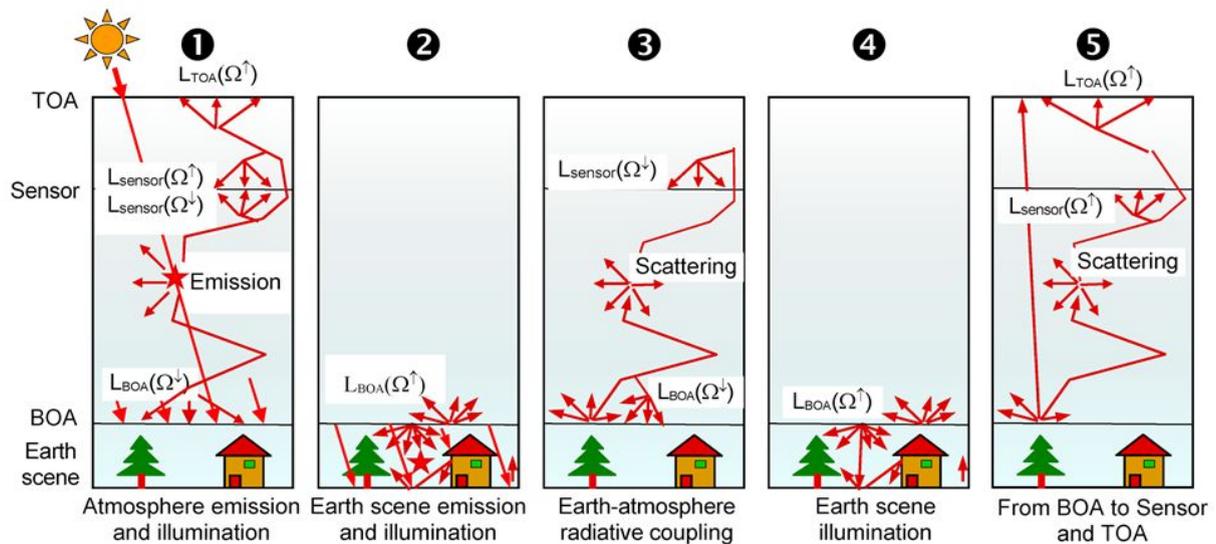


Image 4: Principe du transfert radiatif

Il est possible de normaliser ces signatures, notamment en corrigeant les angles d'illumination et d'observation (réflectance TOA). On peut également corriger les effets de l'atmosphère, mais cela nécessite de connaître les propriétés locale de l'atmosphère, en particulier le contenu en vapeur d'eau, en aérosol, et les pressions partielles des différents gaz. Ces informations ne sont pas toujours accessibles. Pour minimiser les effets de l'atmosphère, on utilise des indices spectraux, qui sont des valeurs relatives entre les bandes spectrales, plutôt que des valeurs absolues.

4.1.1. ND(V,W,S,I) tool

Cet outil permet de calculer des indices spectraux de la forme:

$$(B1-B2)/(B1+B2)$$

Par exemple, des indices célèbres basés sur cette formule sont :

NDVI: B1=proche infrarouge, B2=rouge, indice de végétation

NDWI: B1=proche infrarouge, B2=moyen infrarouge (SWIR), indice de contenu en eau des feuilles

NDSI: B1=vert, B2=moyen infrarouge, indice de neige

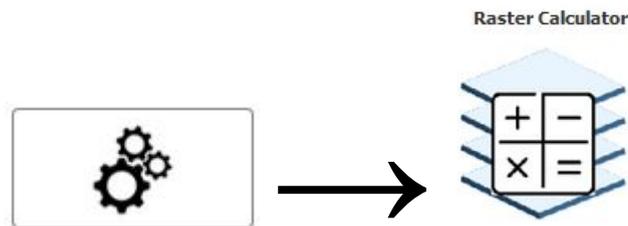
NBR: B1=proche infrarouge, B2=moyen infrarouge (SWIR2) : normalised burnt ratio etc.

Des indices plus complexes peuvent être calculés à l'aide du raster calculator (voir le paragraphe suivant).

Données.1_ACTIVITÉ

Calculer le NDVI et NDWI pour les images Landsat que vous avez importé dans l'exemple précédent. Attention: les numéros de bandes que vous spécifiez correspondent à l'ordre des bandes du fichier: vérifiez à quelle bande cela correspondait dans le fichier Landsat ou Sentinel d'origine (utiliser la fonction d'information du fichier).

4.1.2. Raster calculator



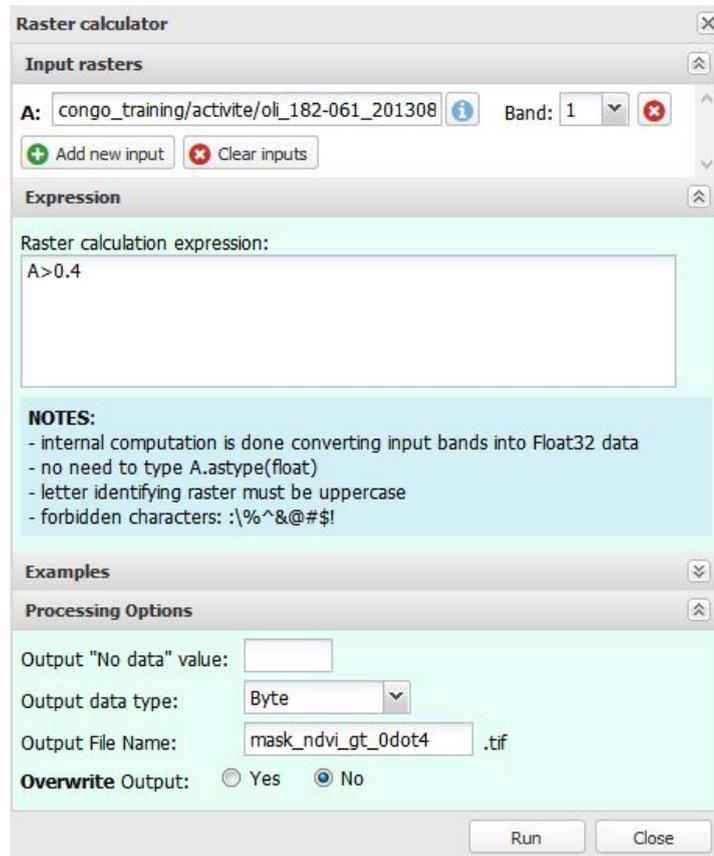
Cet outil permet d'aller plus loin dans l'analyse spectrale. Nous verrons également le cas particulier des opérateurs logiques qui permettent de combiner des bandes, sous certaines conditions, et de créer des masques.

Imaginons que nous souhaitons créer un masque de couvert végétal, sur la base de l'hypothèse que nous conservons les pixels pour un NDVI > 0.4, c'est-à-dire :

- Le résultat est une image masque;
- Si le pixel dans l'image d'origine a un NDVI>0.4, le pixel du masque vaut 1, sinon il vaut 0.

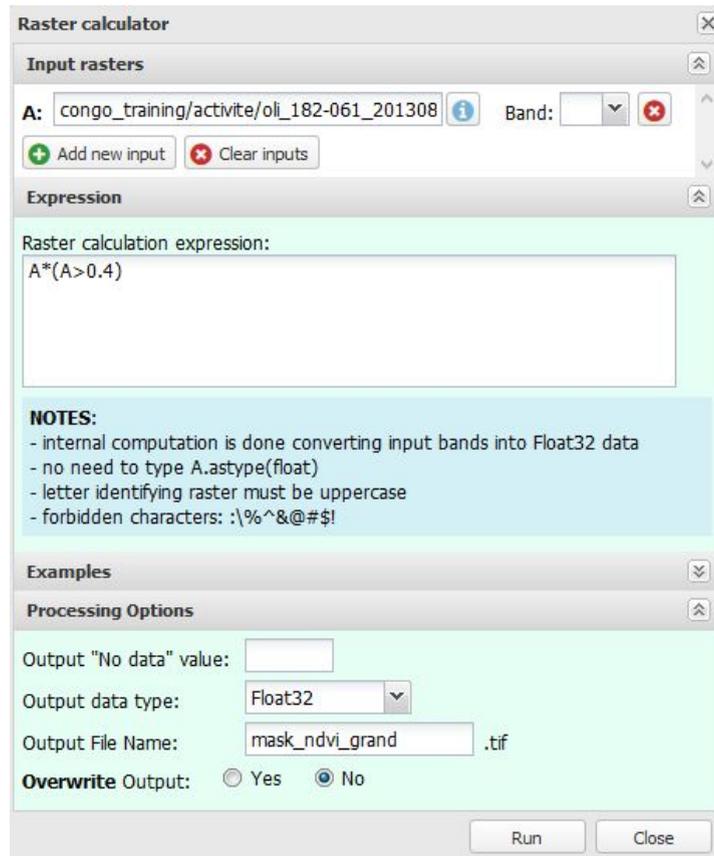
Données.1_ACTIVITÉ

Utilisez le Raster Calculator, avec l'image de NDVI précédente comme donnée d'entrée, représentée par la variable 'A'. L'opération est $A > 0.4$. Les données en sortie sont des bytes (savez-vous pourquoi?). Donnez un nom de sortie comme mask_ndvi_gt_0dot4.tif.



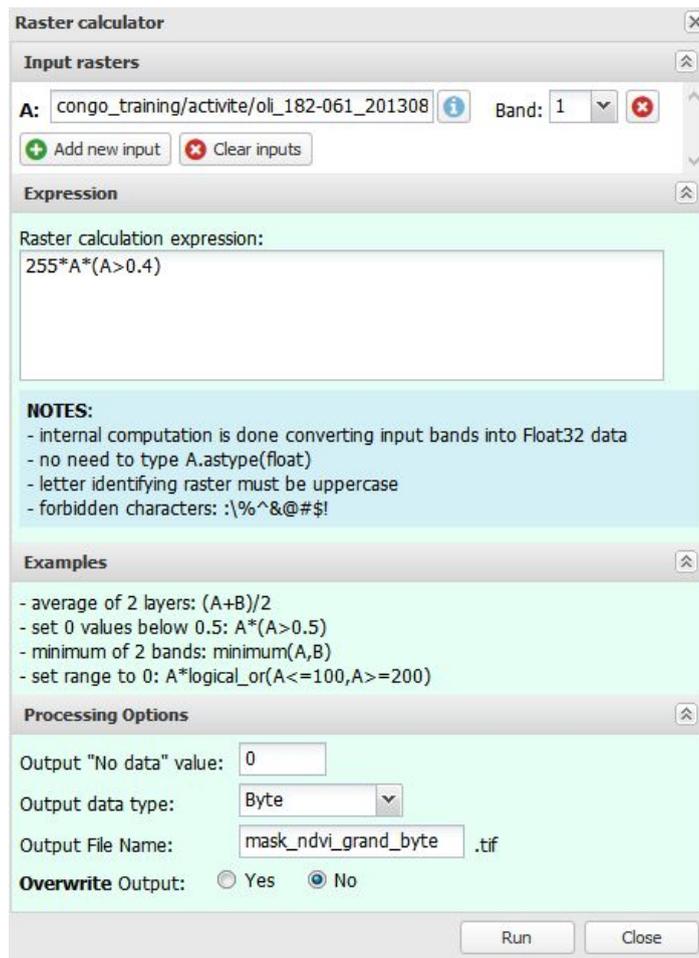
VISUALISEZ

Supposons maintenant que nous souhaitons créer une copie de l'image d'origine et ne conserver que les valeurs de NDVI >0.4, les autres valant 0. On profite ici du fait que 0 est le nul de la multiplication, et 1 le neutre, c'est à dire que l'on souhaite multiplier le masque précédent par l'image de NDVI. Cela peut être fait en une seule opération.



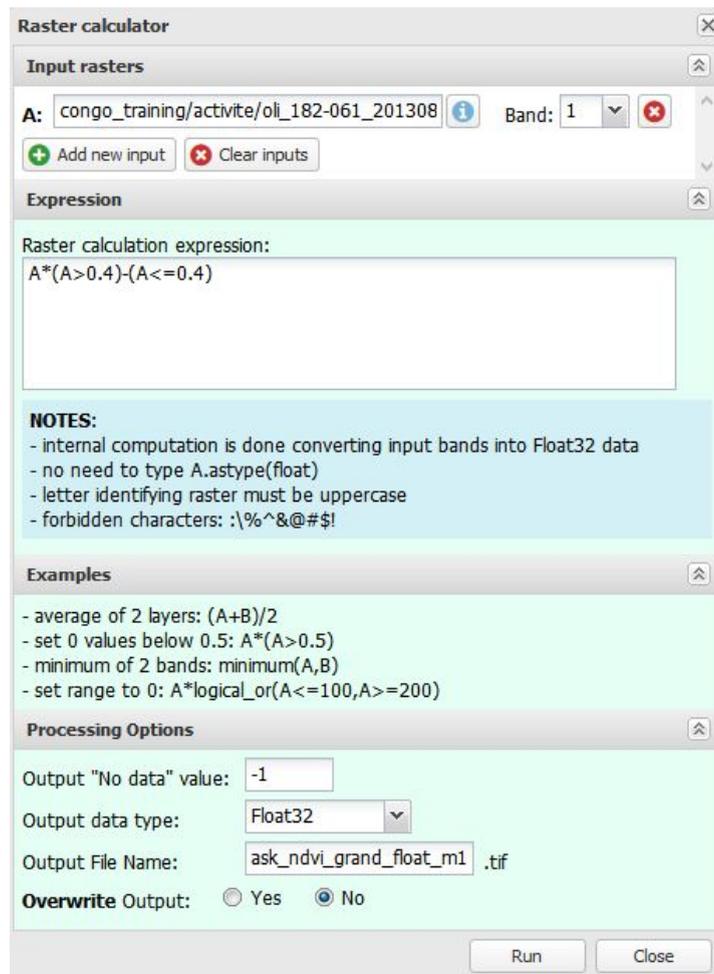
Remarque: vous multipliez votre image d'entrée (NDVI) par un masque (NDVI>0.4). Le résultat est sauvegardé dans un fichier dont le type de données doit être défini (Byte, Int16, Float32). Dans le cas de notre exemple, le fichier de NDVI était codé sur des Float32, nous sauvegardons le résultat en **Float32**.

- Pouvez-vous commenter? Que se passe t-il si on sauvegarde le résultat en Byte?
- Vous pouvez créer une table de couleur pour visualiser ce résultat. Par exemple noir pour les valeurs de 0 à 0.4, bleu à brun pour 0.4 à 0.5 et brun à vert de 0.5 à 0.9;
- J'ai un NDVI en float32, avec des valeurs entre 0 et 0.82, mais je veux sauvegarder le résultat en Byte. Que faire? Je peux multiplier les valeurs par 255, ainsi les valeurs codées seront entre 0 et $0.82 \times 255 = 209$. La résolution de la donnée en Byte est de $1/255$, soit dans ce cas $0.82/255 = 0.0032$ (1 représente 0.0032 de l'échelle originale).



VISUALISEZ

Question: pouvez-vous mettre les valeurs rejetées à -1, plutôt que 0? Quelle précaution prendre pour le fichier de sortie?



Décomposition des calculs :

| A | A>0.4 | -(A<=0.4) | Résultat: A(A>0.4)-(A<=0.4) |
|------|-------|-----------|-----------------------------|
| 0 | 0 | -1 | -1 |
| -0.5 | 0 | -1 | -1 |
| 0.2 | 0 | -1 | -1 |
| 0.5 | 1 | 0 | 0.5 |
| 0.9 | 1 | 0 | 0.9 |

Disons maintenant que nous souhaitons créer une image de moyen infrarouge (SWIR), pour laquelle on garde la valeur de SWIR si NDVI>0.4, -1 sinon.

CODER

VISUALISER

4.2. Classifications

Données.2_CLASSIF_BRAZA

Nous allons commenter différents exemples de classifications d'une image Sentinel-2 couvrant la région de Brazzaville. L'intérêt de cette zone est de présenter une grande variété de types d'occupation du sol, artificiels et naturels.

Image de référence, Sentinel 2 du 27 juillet 2017 :

S2B_MSIL1C_20170727T085559_N0205_R007_T33MWR_20170727T091039

Elle a été obtenue à partir du site du JRC:

<https://cidportal.jrc.ec.europa.eu/forobs/sentinel.py>

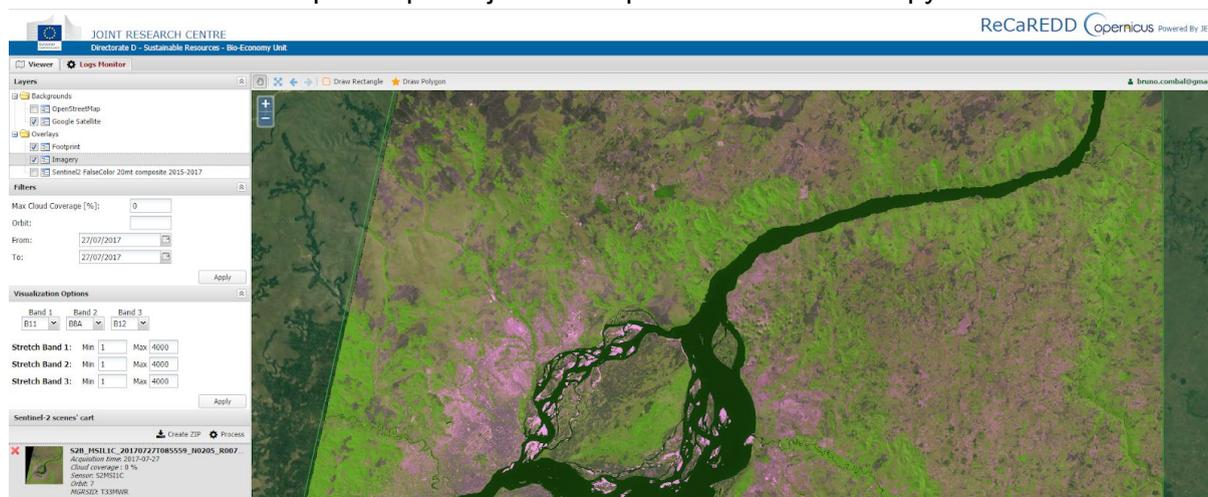


Image 5: Image Sentinel 2 de la région de Brazzaville et du Pool, depuis le site du JRC

4.3. Classification automatique

Impact possède un outil de classification automatique. Celui-ci se base sur les signatures spectrales des pixels, et sur des seuils permettant de faire la différence entre les différentes classes. L'outil possède une option permettant de réajuster les réflectances de l'image de fonction du spectre de référence des forêts. Cela permet d'atténuer les problèmes de modification des réflectances par les conditions d'observation et par l'état de l'atmosphère.

1. Utilisez le classifieur automatique **sans** normalisation des forêts permanentes (evergreen forest normalisation);
2. Puis réalisez la même classification **avec** l'option de normalisation des forêts permanentes.

Que constatez-vous, comment interprétez-vous cette différence ?

5. K-Means (K-moyennes) et PCA (Analyse en Composante Principale)

5.1. Principe

Afin de classer les différentes couvertures du sol, on fait l'hypothèse que celles-ci ont des signatures typiques. L'idée de l'algorithme du k-means (ou k-moyennes) est d'identifier des groupes (ou clusters) de points dans l'espace à n-dimensions des n-bandes de l'image.

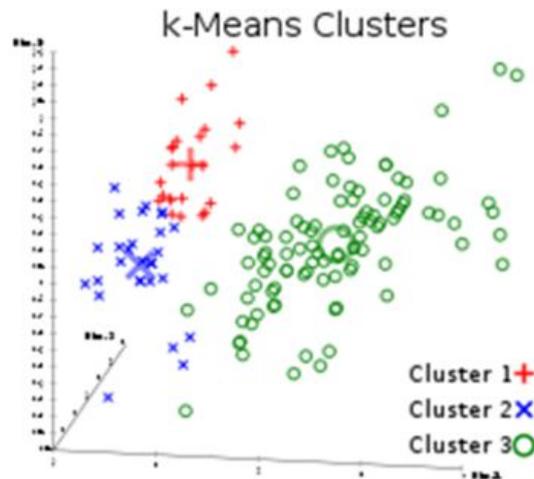


Image 6: Représentation du concept des k-moyennes.

Il est bien évident que plus les nuages de points seront séparés, plus il sera simple de les identifier, et meilleur sera le résultat de la classification. Il est donc assez courant d'utiliser au préalable un algorithme d'analyse en composante principale PCA (Principal Component Analysis) pour réaliser des combinaisons de bandes permettant d'accroître la séparation entre les différents clusters. La PCA crée des combinaisons de bandes dont le but est d'augmenter la variance le long des nouveaux axes créés. On conservera par la suite uniquement les axes qui expliquent (au sens statistique du terme) le plus la variance du jeu de données.

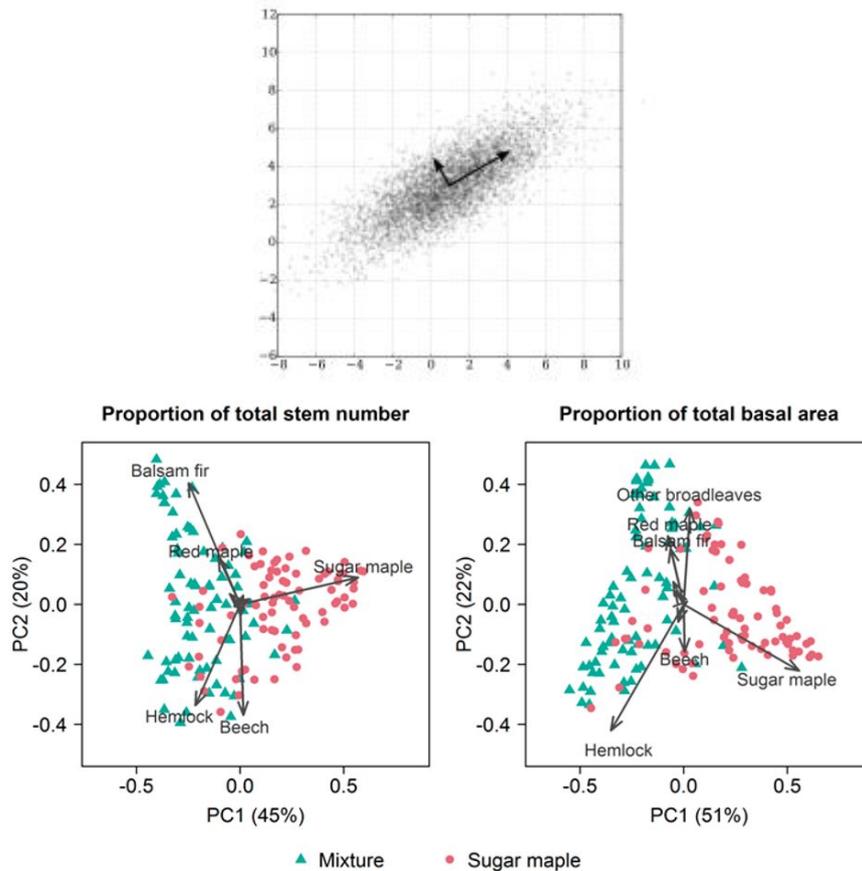


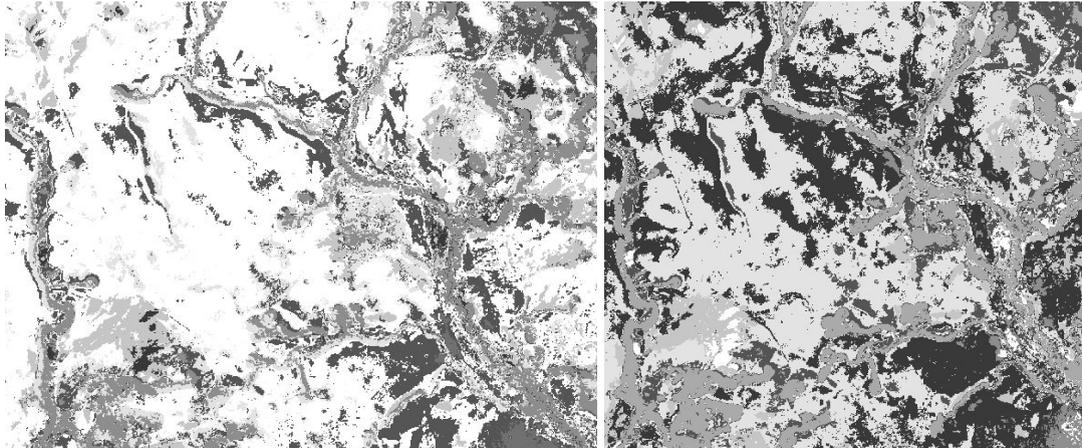
Image 7: Le principe de l'analyse en composante principale est de créer de nouveaux axes maximisant la variance des grandeurs représentées sur ces axes.

Données.2_CLASSIF_BRAZA

Image de référence : Sentinel-2, région de Brazzaville:

S2B_MSIL1C_20170727T085559_N0205_R007_T33MWR_20170727T091039

- Faire une classification par K-means, avec les paramètres par défaut. Que constatez-vous?
- Faire un PCA, puis un K-means. Que constatez-vous?



k-means

PCA suivi de k-means

5.2. Recoder le k-means

Le k-means est un outil généraliste : il n'a aucune notion de la couverture du sol à laquelle correspond chaque classe, il se contente de trier les objets en classes dont les signatures spectrales sont distinctes.

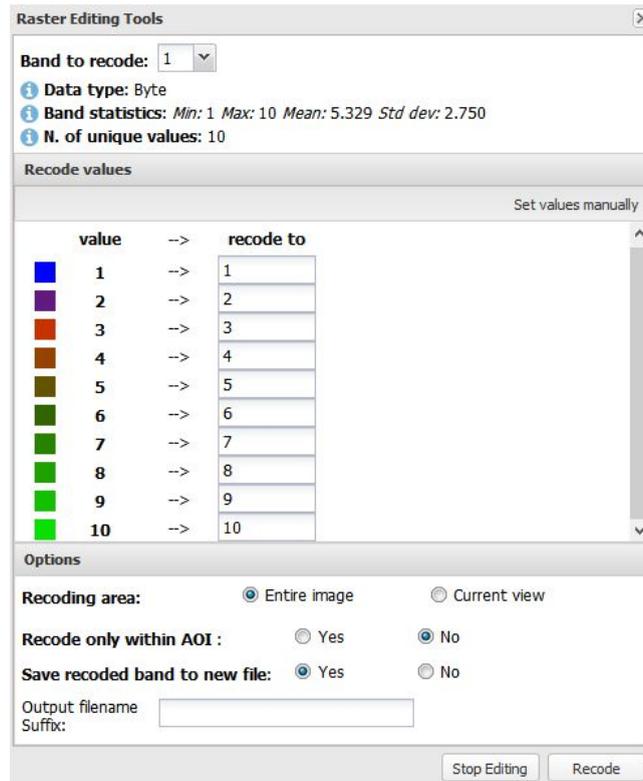
Nous devons donc recoder le k-means. Pour cela, nous devons décider de classes de couverture du sol que nous souhaitons garder, et de leur code de classe. En passant en revue la classification, nous en déduisons à quelle couverture du sol correspond chaque classe de k-means. Pour cela, nous préparons un table de couverture du sol, inspirée de celle défini pour la classification automatique. Notez que nous ne pouvons pas attribuer plus de couverture du sol qu'il n'y a de classes utilisées pour le k-means, soit 10 dans notre cas. Par convention, 0 correspond à l'absence de données (no-data).

Notez que le k-means utilise un générateur aléatoire pour débiter son cycle itératif de classification: vos valeurs de classes ne correspondent pas forcément à celle de votre voisin, et peuvent changer si vous recommencez.

| Nom de la classe | Valeur cible | Valeur(s) d'origine (<i>exemples</i>) |
|---------------------------------|--------------|---|
| No data | 0 | 2 |
| Nuage | 1 | - |
| Eau | 2 | 5 |
| Routes/surfaces artificialisées | 3 | 8 |
| Surface artificialisée/sol nus | 4 | 6 |
| Sol nu | 5 | 10, 3 |
| Herbacées | 6 | 1, 4, 9 |

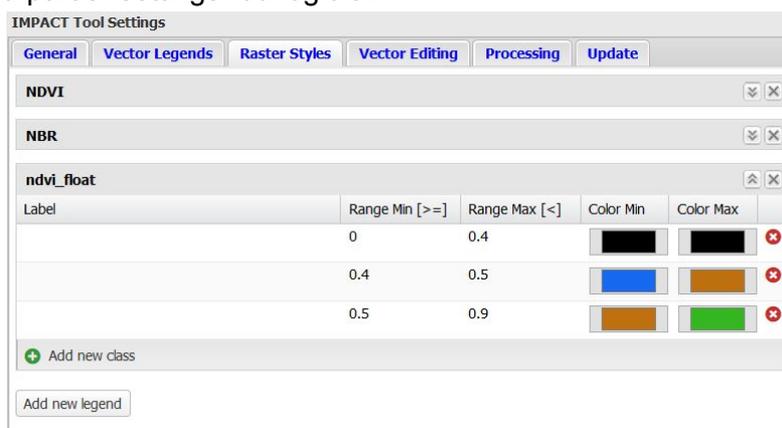
Données.2 CLASSIF_BRAZA

Vous pouvez à présent recoder votre classification, en utilisant la fonction "Start Raster Recode" du menu contextuel du raster. Utilisez la fonction "use unique value" et reportez les valeurs de votre tableau.



ATTENTION : nous vous conseillons de sauvegarder le recodage dans un nouveau fichier, plutôt que de recoder le même fichier, la moindre erreur risquant de provoquer une confusion dans les classes.

Maintenant, vous pouvez créer une nouvelle légende colorée, et l'appliquer à l'image. Faites un clic droit sur l'image, choisissez "define new style" puis choisissez un nom pour ce style. Vous allez ensuite ajouter des classes définies par une valeur de départ puis de fin, et une couleur de départ puis de fin (les couleurs sont interpolées). Vous retrouverez toutes les légendes dans la partie "settings" du logiciel.



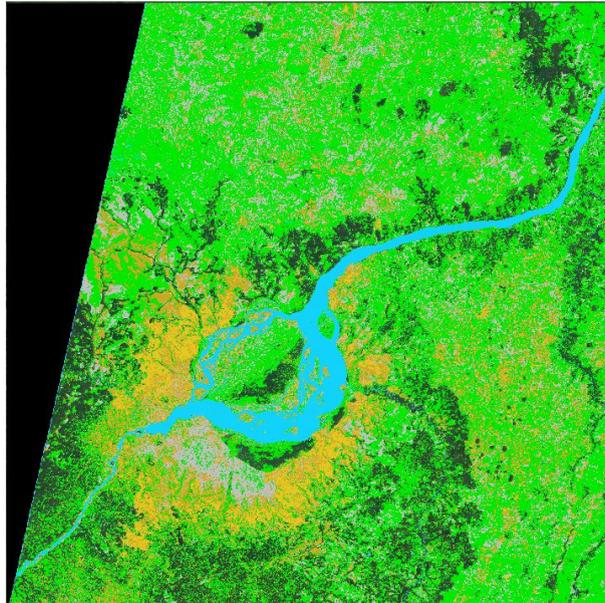


Image 8: Exemple de classification colorée et la classification recolorée correspondante.

6. Linear Spectral unmixing (séparation spectrale linéaire)

Comme nous l'avons déjà évoqué, un pixel correspondant à un certain type de couverture (forêt, sol nu, eau, couvert agricole, zone construite) n'est pas uniquement fait de ce type de couverture. Un pixel de zone forestière peut-être plus ou moins fermé, et la contribution du sous bois et du sol peut être plus ou moins importante sur la signature spectrale totale du pixel.

L'idée de la séparation spectrale est d'exprimer le spectre du pixel comme une combinaison linéaire de signatures typiques de différents objets, à savoir: sol nu, eau, et végétation (Les valeurs pour Landsat sont les mêmes que pour Sentinel-2). Il est recommandé d'utiliser la fonction de normalisation des forêts permanentes (sur les régions où elles sont présentes).

Données.1 ACTIVITÉ

Nous utiliserons ici l'image Landsat: `oli_182-061_20160618`

Importez l'image, si ce n'est pas déjà fait, puis lancez l'opération de séparation spectrale, en choisissant la fonction de normalisation des forêts permanentes.

Le résultat de l'opération de séparation spectrale est un nombre de 0 à 255 indiquant la proportion de chacun des "endmember" dans le spectre du pixel (255 indique 100%, soit un pixel ne contenant que ce "endmember").

Les proportions sont organisées comme suit:

Bande 1 (rouge): proportion de sol nu

Bande 2 (vert): proportion de végétation

Bande 3 (bleu): proportion d'eau

Ainsi, en affichant l'image de séparation spectrale, on a immédiatement une idée du type de couverture du sol. Bien entendu, les couleurs correspondant à des mélanges de Rouge, Vert et Bleu correspondent à des combinaisons de sol, végétation et eau.

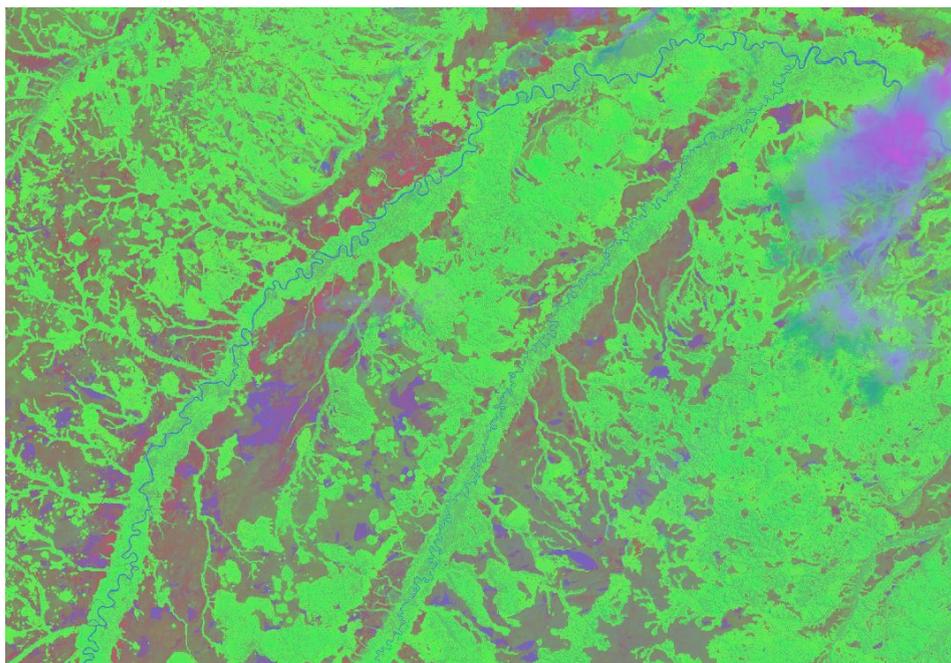


Image 9: Image Sentinel après une séparation spectrale linéaire.

De manière pratique, la décomposition de la signature de chaque pixel en 3 signatures typiques ne peut pas toujours donner 3 proportions dont la somme totale est 100%.

La principale raison est qu'il n'est pas toujours possible de décomposer le signal d'un pixel sur cet ensemble de trois signatures typiques, soit parce que il y a autre chose dans le pixel, soit parce que la signature de chaque élément du pixel n'est pas une transformation linéaire de la signature de l'end-member correspondant. Il peut en résulter une proportion négative (il faut retirer une fraction du signal d'un des end-members pour que la somme totale se rapproche du signal du pixel).

Le fichier image résultat code donc les valeurs de proportion attendues, être 0 et 100%, ainsi que les valeurs hors bornes, c'est-à-dire excédant 100% ou inférieures à 0%.

La représentation des valeurs est donc la suivante:

| Proportion de signature de l'end-member | Codage dans le fichier résultat |
|---|---------------------------------|
| $]-\infty, 0]$ | $[0, 100]$ |
| $]0, 1]$ | $]100, 200]$ |
| $]1, +\infty[$ | $]200, 255]$ |

En résumé, si vous affichez votre image avec un rendu RGB entre 0 et 255, toutes les valeurs possibles seront affichées. En limitant le rendu sur chacun des canaux (R, G et B) entre 100 et 200, vous n'afficherez que les valeurs correspondant à une proportion entre 0 et 100%.

7. Détection de changements

Une des activités principales requise dans l'estimation des émissions de carbone dues aux coupes forestières nécessite de détecter les zones déboisées entre deux dates d'observations.

Nous bénéficions de séries temporelles qui nous permettent d'observer des changements de l'occupation du sol. Nous allons examiner différentes approches permettant de capturer de tels changements.

7.1. Détection de coupes forestières

Données.1 ACTIVITÉ

Nous utiliserons ici le Δ NBR. Cette approche met en valeur des perturbations dans le couvert arboré, qui peuvent être liées à des coupes sélectives, en calculant la différence de NBR (voir section 5.1.1) entre deux dates. Nous nous proposons d'observer l'évolution des coupes forestières, dans la zone correspondant au fichier 'activite.shp', entre juin et décembre 2016.

Region: "activite"

Images: oli_182-061_20160618, oli_182-061_20161211

7.1.1. Détection de changement

Le module Δ NBR requiert que la paire d'images soit superposable, pixel à pixel. Pour cela, nous allons découper nos deux images sur une zone commune, en utilisant la fonction "clip" et le shapefile "activite".

Affichez successivement les deux images : voyez-vous les zones qui ont été déboisées?

Vous pouvez créer votre propre zone d'intérêt avec "draw rectangle".

On calcule le Δ NBR. Le NBR utilise le SWIR2 (bande 7 de Landsat) et le PIR (bande 5), qui sont les bandes 6 et 4 dans notre fichier. Comment le savons nous?

Le résultat du calcul est disponible sous la forme de deux fichiers: un fichier contenant les valeurs du Δ NBR (nombre code entre -1 et 0, sur un Float32), et un fichier de classes, avec les classes suivantes:

Classe 10: pas de changement, Δ NBR >0.04

Classe 30: changement, Δ NBR <= -0.04

On change l'affichage (-1 à -0.05). Quels sont vos commentaires?

On peut également afficher l'image de classes.

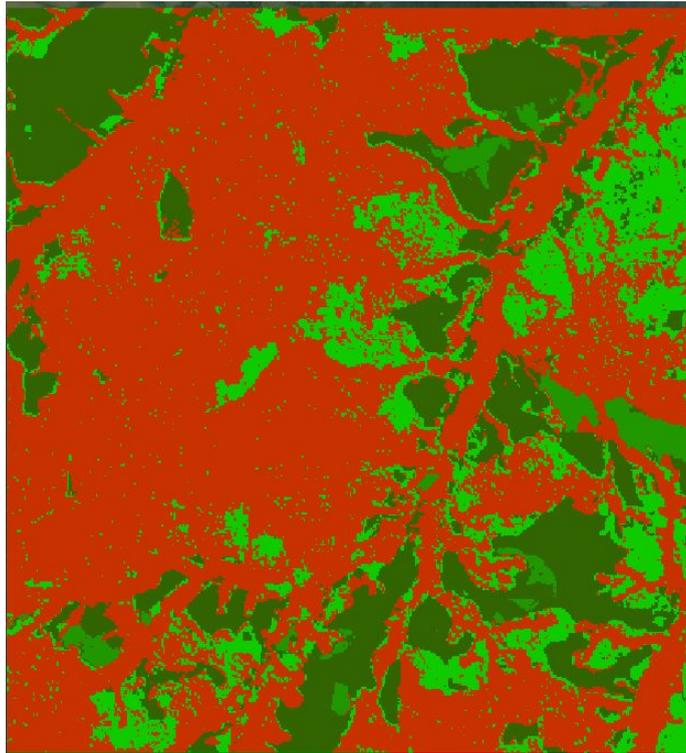
7.1.2. Masque de forêt

On observe également que des détections ont lieu sur des zones d'activités agricoles, entre autres, ce qui est normal car les couverts agricoles sont généralement des plantes annuelles qui ont vocations à être coupées une fois l'an. Nous devons donc nous concentrer sur les zones forestières.

Il existe de nombreuses manières de discriminer la forêt dans un paysage, tout dépend des données dont vous disposez, des conditions d'observations, du paysage et de vos connaissances du terrain.

Utilisons par exemple le moyen infrarouge (SWIR, bande 5 de notre exemple). Les forêts apparaissent très sombres dans cette longueur d'onde. Appliquons un k-means sur 5 niveaux à la bande SWIR (ne prenons pas trop peu de classes pour éviter les confusions de couverture du sol) :

- Extraire la bande SWIR avec raster conversion, sur l'image de la première date;
- Appliquer le k-means avec 5 niveaux.



Prenons note des valeurs de classes qui font partie de la forêt (notons les '1') et celles qui n'en font pas partie (notons les '0').



Gardez bien à l'esprit que le fond d'image Google ne correspond pas à la date de l'image que vous analysez. Vous pouvez l'utiliser pour comprendre le contexte, mais les valeurs de la date d'observation sont celles de l'image d'origine.

Nous constatons que notre masque présente des "trous", car sa création est basée sur la valeur du SWIR de chaque pixel. L'outil de segmentation peut nous aider à détourner les formes géographiques de la forêt.

Segmentation Options

Inputs

| Inputs | Classification (optional) | Band |
|-------------------------------------|------------------------------------|------|
| activite/activite_oi_182-061_201601 | activite/activite_20160618_mask_fc | 1 |

+ Add new input - Clear inputs

Processing Options

Info:

- **Classification:** if provided, each polygon is filled with the most frequent value
- **Single-date:** each image is segmented separately in batch mode
- **Multi-date:** input images are segmented all together (e.g. change detection); number of classification files determine the number of attribute columns in the DBF

Aggregation rule (only used in pre-classification): Majority

Multi-date segmentation? (Process selected and overlapping images as time-series): Yes No

Overwrite existing shapefile?: Yes No

Optimization: use tiling to reduce memory?: Yes No

Segmentation Parameters

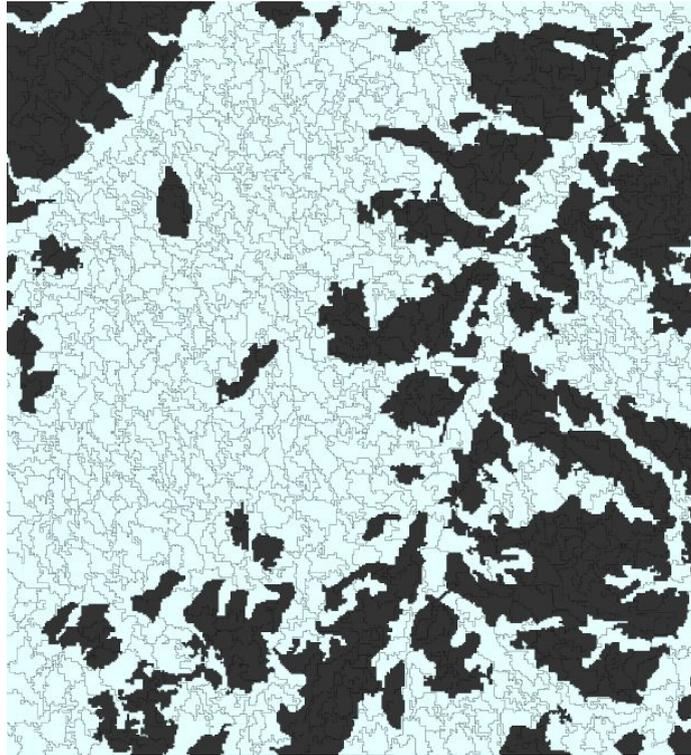
| Bands | Strategy: | Compactness: | Similarity [0-1]: |
|-------|----------------|-------------------|--------------------------|
| R: 1 | Baatz | 0.8 | 0.9 |
| G: - | MMU: 20 | Color: 0.9 | Shapefile Suffix: |
| B: - | | | |

Run Close

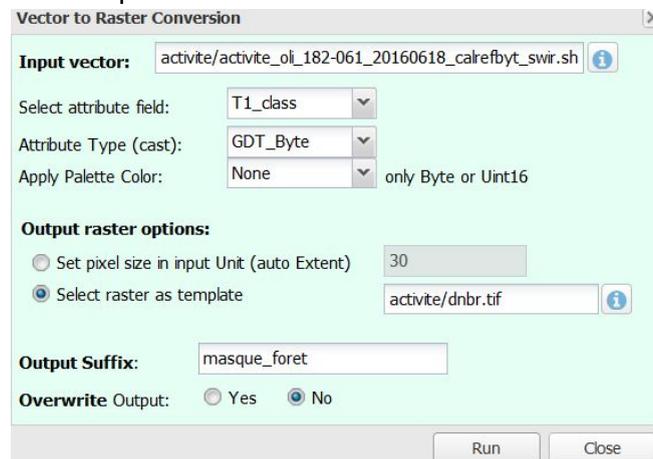
L'outil de segmentation nous permet d'affecter la classe de chaque polygone en fonction de la classification que nous avons réalisé en utilisant le k-means sur la bande SWIR :

- Baatz;
- input : la bande SWIR;
- classification: le masque de forêt;
- Bande: 1;
- MMU: 20.

Ainsi, nous obtenons un domaine forestier fermé et continu, sans effet de pixelisation.



Nous pouvons à présent exporter ce shapefile sous forme de raster afin de l'utiliser comme masque du domaine forestier pour les résultats du Δ NBR. Utilisez vector to raster conversion, et imposez le fichier Δ NBR comme grille de référence (savez-vous pourquoi?). Pour masquer le Δ NBR, il suffit pour cela d'utiliser l'outil band calculator avec le fichier de Δ NBR et le masque de forêt que nous venons de créer.



Afin de filtrer les résultats de Δ NBR, il suffit d'utiliser band calculator et de multiplier le Δ NBR par le masque. Si vous masquez le Δ NBR, le résultat est sous forme de float32, si vous masquez les classes de Δ NBR, le résultat est un Byte.

La fonction show histogram statistics vous donnera la proportion de pixels dans chaque classe, vous pourrez en déduire la surface de dégradation.

7.2. Détection d'exploitations minières

Données.3 MINES

L'exploitation des mines a débuté aux environs de mars 2016, au nord de la ville de Kelle, pour cela les environs ont été déboisés. Les exploitations se trouvent près de rivières et leur impact est visible sur les images satellites.



Les images que nous utiliserons seront celles de février 2016 (avant les activités) et de la fin de l'année. D'autres images vous montrent que les activités se poursuivent. Les images sont des imports de Sentinel-2, avec les 6 bandes: B2, B3, B4, B8, B11 et B12 (bleu, vert, rouge, proche infrarouge, et les deux moyens infrarouge):

Nous traiterons: S2A_MSIL1C_20160201mines.tif et
S2A_MSIL1C_20161217mines.tif

Les autres images nous permettent d'apprécier visuellement l'évolution:

S2A_MSIL1C_20170814mines.tif

S2A_MSIL1C_20180121mines.tif

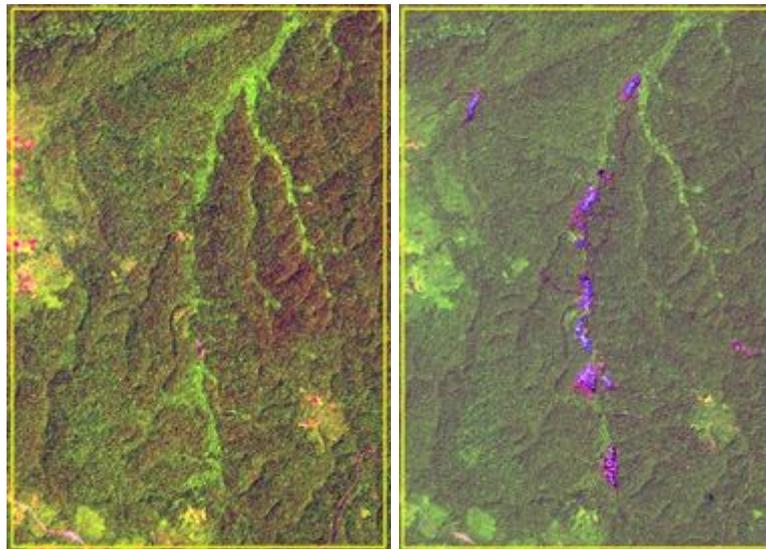
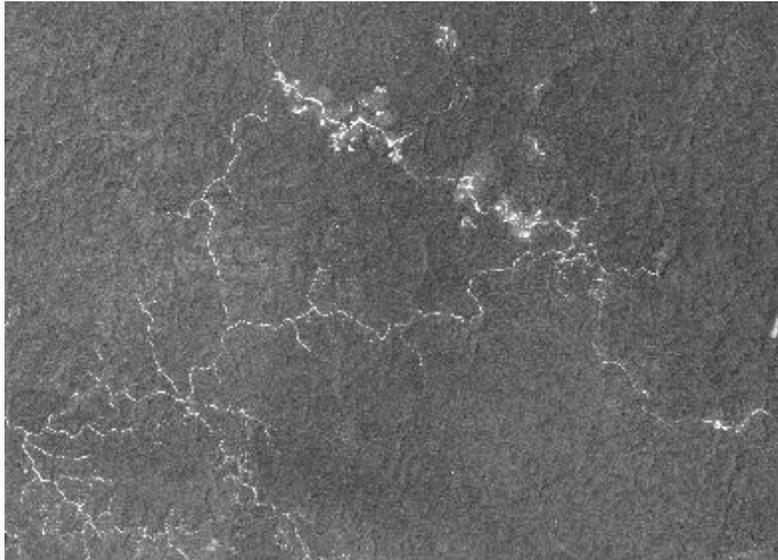


Image du 1er février 2016 et du 17 décembre 2016: les mines suivent le cours d'eau (bandes 5, 4, 3).

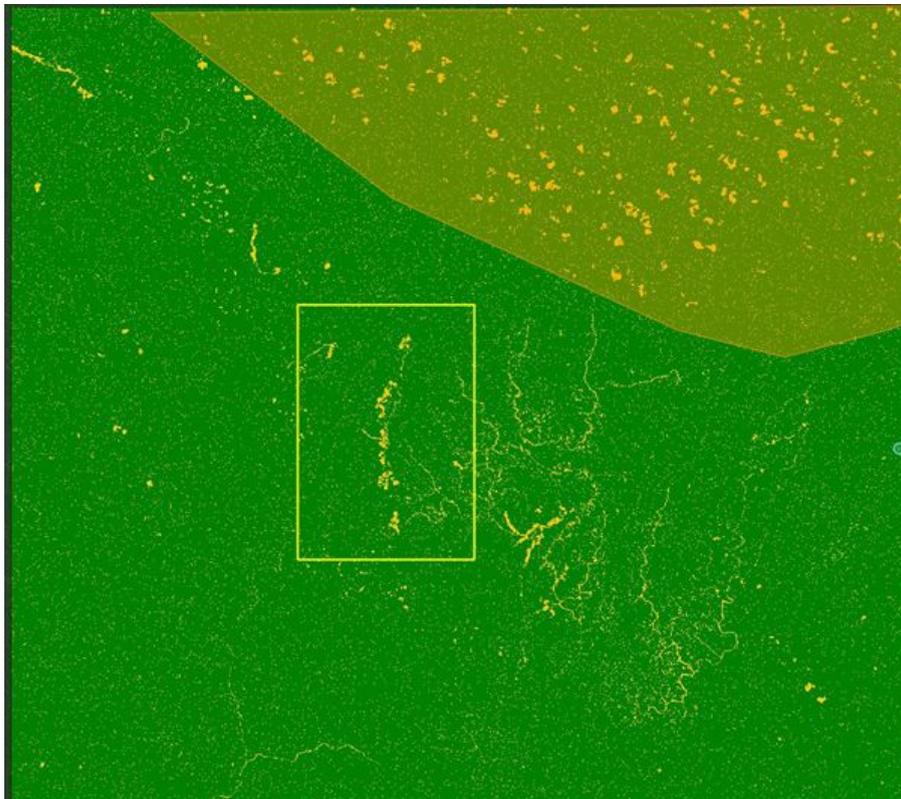


La bande de moyen infrarouge (bande 6) vous montre également les routes d'exploitation forestière.

Nous vous proposons de vous consacrer à une zone plus réduite, en "clippant" les images avec le fichier shapefile "mines.shp".

Nous allons maintenant estimer la dégradation en utilisant l'outil de ΔNBR sur les deux dates de 2016. Par défaut, le kernel est de 7 pixels pour Landsat (soit $7 \times 30m = 210m$), nous le fixons donc à 21 (soit $21 \times 10m = 210m$) pour conserver les mêmes propriétés.

Le résultat est une image pour laquelle le code 10 représente une absence de changement ($\Delta NBR < 0.04$), et le code 30 un changement ($\Delta NBR \geq 0.04$). Le code 40 est réservé pour les valeurs hors masque.



Le ΔNBR repère les mines et les aires de déboisement. Malheureusement, les nuages de la seconde image apparaissent également. Impact vous permet d'éditer le ΔNBR à la main, et ainsi d'enlever les nuages en les encodant en forêts. Pour cela nous :

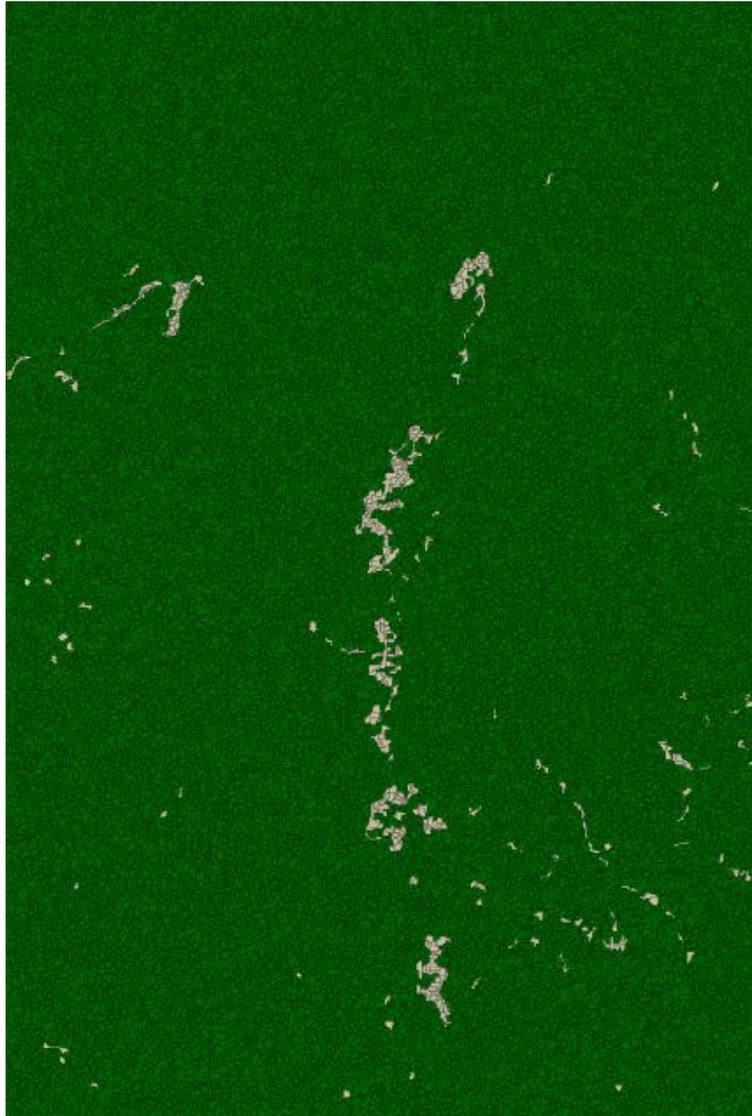
- définissons une zone d'intérêt avec l'outil "draw polygone";
- faisons un clic droit sur le résultat du Δ NBR, choisissons "start raster recode", puis recodons l'intervalle 30-31 en 10. Lorsque Impact vous demande s'il faut effacer les éléments temporaires (delete temporary features), répondez non, de manière à ce que le polygone que vous venez de tracer rester en mémoire et soit disponible pour recoder uniquement dans la zone tracée;
- Dans l'interface de recodage, choisissez la bande 1, puis cliquez sur "use unique values", ce qui fera apparaître toutes les valeurs disponibles dans l'image (dans notre cas 10 et 30);
- Indiquez que 30 est recodé en 10, et n'oubliez pas de cliquer sur "Recode Only Within AOI: YES" de manière à ce que le recodage des valeurs de la classe 30 en 10 n'ait lieu que dans la zone que vous avez dessinée.
- Choisissez soit de recoder directement le fichier, soit de sauvegarder le résultat du recodage dans un nouveau fichier (pour être certain de ne pas écraser les valeurs d'origine par une mauvaise manipulation): indiquez donc soit "Save recoded band to new file: YES or NO" suivant que vous souhaitez écrire directement dans le fichier d'origine (YES) ou dans un nouveau fichier (NO).

Il reste quelques éléments liés à des fluctuations du signal, que nous allons éliminer.

Nous lançons une segmentation de l'image, avec le but d'isoler les plus gros éléments cohérents, et en remplissant les polygones résultants avec la majorité des pixels de l'image de Δ NBR. Ainsi, le bruit sera "noyé" dans la forêt, à l'échelle des polygones. Nous lançons une segmentation avec les paramètres suivants :

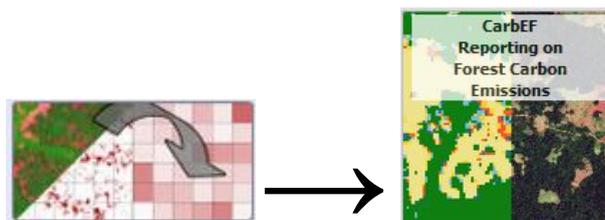
- en entrée l'image Sentinel correspondant à la seconde date;
- La classification Δ NBR;
- Bandes: R=5, G=4, B=3;
- Algorithm: Baatz;
- MMU: 10 (une valeur plus grande permettra des calculs plus rapides, avec des résultats plus grossiers);
- similarity: 0.9

NOTE : afin de gagner du temps, vous pouvez découper de nouveau l'image de Δ NBR sur une région plus petite.



8. CarbEF: Estimation des émissions de carbones dues à la déforestation et à la dégradation

Données.3_EMISSIONS



Dans le cadre de ReCaREDD, nous avons développé un module, CarbEF, permettant d'estimer les émissions de CO₂ dues aux processus de déforestation et de dégradation des forêts.

Ce module exploite des cartes de changement de l'état des forêts, sur deux périodes de temps, codés de la manière suivante :

- 0: pas de données;
- 1: T-T: le pixel est resté un couvert arboré sur les deux périodes;
- 2: NT-NT: sur les deux périodes de temps, le pixel n'était pas un couvert arboré;
- 3: T-NT1: le couvert arboré a disparu lors de la première période;
- 4: T-NT2: le couvert arboré a disparu lors de la seconde période.

Ce genre de carte est établi par l'analyse de données de télédétection, par des approches similaires à celles que nous avons vues précédemment.

Un élément de forêt, ou Unité Minimale de Forêt (UMF) est définie suivant les règles IPCC :

- par une surface minimale (généralement 0.5ha ou 1 ha);
- un taux de couverture du sol par les couronnes d'arbres (souvent 30%);
- une hauteur minimale pour les arbres.

Si ces critères ne sont pas remplis, l'UMF est déclarée "déboisée", sinon elle est simplement dégradée. Notez que l'on ne peut pas apprécier par télédétection une variation de la hauteur des arbres.

Le logiciel CarbEF analyse l'ensemble des données de changement, et en déduit les surfaces affectées par une dégradation et celles affectées par une déforestation. Le logiciel en tire un rapport de synthèse, ainsi qu'une estimation des émissions de carbone associées. La distinction entre les UMF dégradées et déboisées est fondamentale, car si une UMF déboisée libère la totalité de carbone qui était séquestrée par la forêt, une entité dégradée n'en libère qu'une partie.

Il s'ensuit deux hypothèses de calcul (appelées option A et option B dans le rapport de sortie). L'option A réalise des comptes d'aires et d'émission à l'échelle des UMF, alors que l'option B fait les mêmes comptages à l'échelle d'un pixel. Soit la dégradation d'une UMF dégradée est directement proportionnelle à la surface perdue (option B), soit elle correspond à une proportion du total de l'UMF (et ce, quelque soit la surface perdue, avant d'atteindre le seuil limite pour être déclarée déboisée). Cette seconde approche (option B) est justifiée par le fait que la résolution des images satellites ne permet pas d'accéder à une mesure réaliste de la surface réellement dégradée, c'est l'ensemble de l'UMF qui est concernée.

Le logiciel associe ensuite les surfaces déboisées et dégradées à une donnée de quantité de carbone disponible. Celle-ci peut soit être une valeur constante pour l'ensemble de la zone d'étude, soit se présenter sous la forme de carte.

De façon optionnelle, CarbEF permet également à l'utilisateur de définir une carte de zone d'exception, qui ne doivent pas être prises en comptes dans le calcul des surfaces et des émissions.

D'autre part, en fournissant un fichier de type shapefile au logiciel, les valeurs de surfaces déboisées et dégradées peut être réparti en fonctions des différentes classes de fichier shapefile.

8.1. La carte de changement

La création d'une carte de changement requiert d'analyser plusieurs années de données, et de procéder à de laborieuses étapes de validations et corrections.

Nous utiliserons ici un extrait du produit **Roadless**, développé au JRC, qui se base sur l'analyse de données Landsat.

Le produit Roadless analyse l'archive Landsat et détaille les différents événements qui ont eu lieu pour chaque pixel de l'image. Ce produit nous a été fourni déjà recode pour deux périodes, comme indiqués ci-dessous, et correspond à l'image emissions\1_cartes de changements\Sangha_recentchangesCongo_eq_area

| Code | Avant periode 1 2000 | Période 1 2013-2014 | Période 2 2015-2016 |
|----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0 | no data | no data | no data |
| 1: T-T | couvert arboré (T) | Couvert arboré (T) | Couvert arboré (T) |
| 2: NT-NT | Pas un couvert arboré (NT) | Pas un couvert arboré (NT) | Pas un couvert arboré (NT) |
| 3: T-NT1 | Couvert arboré (T) | Pas un couvert arboré (NT) | Pas un couvert arboré (NT) |
| 4: T-NT2 | Couvert arboré (T) | Couvert arboré (T) | Pas un couvert arboré (NT) |

Créez un style de couleur pour le fichier image et visualisez la carte.

8.2. Création d'une carte de la biomasse aérienne

On dispose d'une carte de stratification du pays.

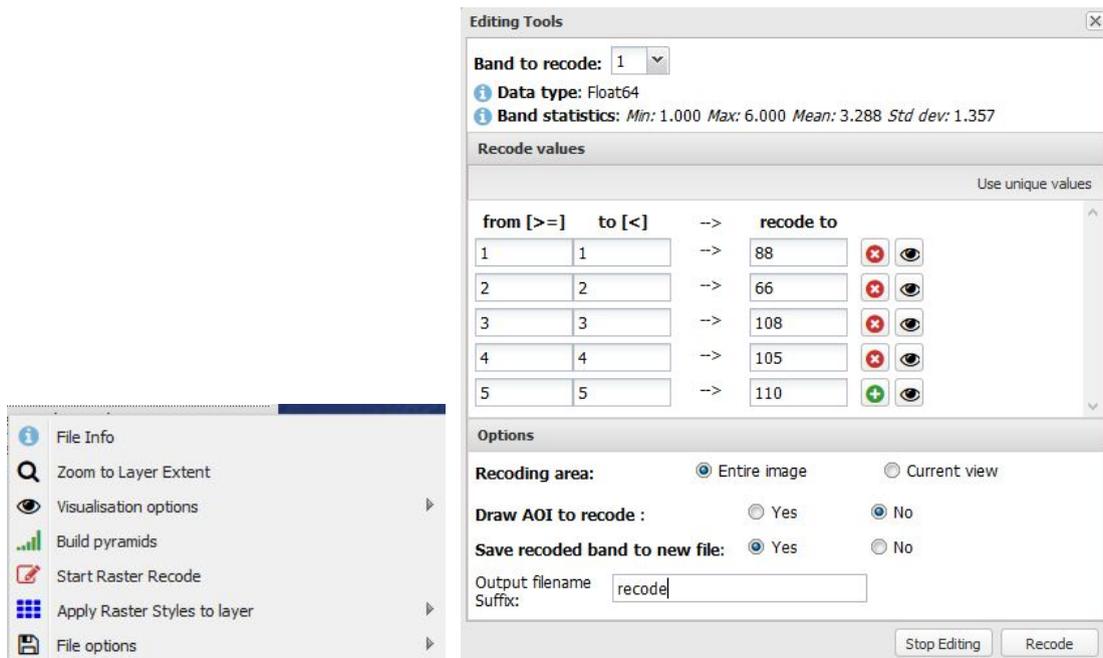
Pour chaque strate, nous avons une idée de la biomasse aérienne disponible. Nous allons croiser ces deux informations. Le taux en carbone de chaque couche peut être attribué à partir du tableau 1.

| Strate | AGB | | Souterraine | | Bois mort | | Total | |
|--|-----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| | Densité (tC/ha) | ET (%) | Densité tC/ha) | ET (%) | Densité tC/ha) | ET (%) | Densité tC/ha) | ET (%) |
| Strate 1 : Terres inondées ou inondables et eaux continentales | 88,6 | 19,0 | 32,8 | 19,0 | 0,0 | 79,3 | 121,4 | 14,8 |
| Strate 2 : Plateaux et collines sur roches sédimentaires et sables | 66,9 | 16,0 | 24,8 | 16,0 | 0,4 | 60,3 | 92,1 | 12,4 |
| Strate 3 : Montagnes et collines sur roches métamorphiques | 108,1 | 8,6 | 40,0 | 8,6 | 0,2 | 44,8 | 148,2 | 6,7 |
| Strate 4 : Plaines sur roches sédimentaires et sables | 105,9 | 6,4 | 39,2 | 6,4 | 0,7 | 31,3 | 145,8 | 4,9 |
| Strate 5 : Plaines sur roches métamorphiques | 110,6 | 6,2 | 40,9 | 6,2 | 0,3 | 27,1 | 151,8 | 4,8 |
| Total pays | 101,7 | 2,0 | 37,6 | 2,0 | 0,4 | 13,4 | 139,7 | 1,6 |

N.B : ET = Erreur type de la densité de carbone

Table 1: Estimation du carbone des arbres dans les forêts. (Source: Table 7, Niveau Des Émissions De Référence Pour Les Forêts De La République Du Congo, 2016)

Utilisez l'outil de 'raster recode' pour créer un nouveau fichier avec la biomasse attribuée à chaque strate.



8.3. La carte d'exception

On peut également visualiser les exceptions correspondants aux feux, dans le département de la Sangha. Le travail d'identification des feux a déjà été réalisé, et se trouve dans le fichier emissions\3_exceptions\burnt_area_verhegghenetal2016_roadless_class4.tif

Le feu n'a pas consommé les arbres, mais seulement le sous-bois. La biomasse cartographiée à cet endroit ne doit donc pas être ajoutée au compte total des émissions.

8.3. Estimation des émissions de carbone

On passe en revue les données dans Impact.

On les ingère dans CarbEF.

CarbEF - Reporting on Forest Carbon Emission (degradation and deforestation)

Tree cover loss map:

Outputs: MFU classification image, general HTML report and detailed Excel report

Output Name: Overwrite output: Yes No

Minimum Forest Units are square-shaped, their size (width) is in tree cover loss map pixel. Typical size is 9px for Landsat, equivalent to 0.81ha.

MFU width (px): Minimum tree cover per Forest Unit (%):

Definition (starting and ending years) of periods 1 and 2

One period Two periods

Period 1, start year: Period 1, end year: Period 2, start year: Period 2, end year:

Use forest carbon stock map or a constant

Use forest carbon stock map or a constant?: map constant

Forest carbon stock map: 

Forest carbon stock (t/ha): Option A - Proportion (%) of carbon stock emitted by degradation:

Landuse layer

Use landuse layer?: Yes No

Landuse shapefile: 

Select a field: 

Exception map

Use Exception map?: Yes No

Exception map: 

Les résultats sont :

- une image des classes de dégradations/déforestation
- un fichier résumé au format html;
- un fichier excel avec tous les détails de calculs

Les chemins vers les fichiers statistiques sont dans le "log monitor".

Visualisation des résultats : affichez l'image des classes de dégradation et déforestations issues de CarbEF (voir ci-dessous), le fichier HTML de résumé et le fichier Excel des détails de calculs (un exemple de résultat est disponible avec le jeux de données).



Image 10: résultat des classes d'activités des Unités Minimales de Forêt, calculées par CarbEF

--- Fin du document ---