



# **Travaux Pratiques de Télédétection Spatiale II**

**Avec données et logiciels  
libres**

Antoine DENIS



## Avant-propos

Ce manuel présente une série d'**exercices de télédétection spatiale, prêts à l'emploi, avec données et logiciels libres**. Les exercices vont du « **niveau découverte** » à un « **niveau plus avancé** » tout en restant très abordables pour des étudiants de Master 1 et 2. Les exercices peuvent se réaliser **en autonomie** grâce aux instructions méthodologiques détaillées et aux nombreuses illustrations. En plus des exercices en tant que tels de nombreuses **ressources complémentaires** sont proposées (sites web, applications).

Ce manuel et les données y afférentes sont libres de droit et redistribuables moyennant une mention de la source\*. Ils sont téléchargeables gratuitement à l'adresse web : <https://orbi.uliege.be/handle/2268/240835>.

Pensez à l'environnement avant d'imprimer ces notes!!\*\*

Ce manuel a été rédigé par [Antoine DENIS](#)  
[Université de Liège \(ULIEGE\)](#)  
[Arlon Campus Environnement](#)  
[Département des Sciences et Gestion de l'environnement](#)  
[Unité Eau Environnement Développement \(EED\)](#)  
Avenue de Longwy, 185  
6700 Arlon, Belgique  
[Antoine.Denis@ULiege.be](mailto:Antoine.Denis@ULiege.be)

Merci de signaler toute erreur rencontrée dans ce manuel par email à l'adresse ci-dessus.  
Les mises à jour de ce manuel seront disponibles via l'adresse web ci-dessus.

**Version du 7 novembre 2024**

Images de couverture : images extraites du livre « EARTH as ART », NASA disponible à l'adresse [http://www.nasa.gov/connect/ebooks/earth\\_art\\_detail.html](http://www.nasa.gov/connect/ebooks/earth_art_detail.html) et vue d'artiste du satellite « Sentinel 2 ».

\* Comment citer ce manuel ? : « DENIS Antoine, 2021, Travaux Pratiques de télédétection spatiale II - Avec données et logiciels libres, ULIEGE, Belgique, <https://orbi.uliege.be/handle/2268/240835> ».

\*\* N'imprimez pas ces notes ! Si vous devez les imprimer, utilisez le verso de feuilles déjà utilisées, imprimez recto-verso et/ou imprimez en 2 pages par feuilles.

## Du même auteur

Sont également disponibles, du même auteur, les manuels de Travaux Pratiques suivants:

Manuel de TP	Année	Pages	Adresse de téléchargement	Commentaires
<b>SIG – ArcGIS 9.3</b>	2012	89	<a href="https://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/135775">https://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/135775</a>	ArcGIS = le logiciel SIG payant de référence. Données fournies.
<b>SIG – QGIS</b>	2024	254	<a href="http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/190559">http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/190559</a>	QGIS = le logiciel SIG gratuit de référence. Données fournies. Chaine YouTube  <b>YouTube</b> : <a href="https://www.youtube.com/@TutorielsSIGett%C3%A9d%C3%A9tectio-f5j">https://www.youtube.com/@TutorielsSIGett%C3%A9d%C3%A9tectio-f5j</a>
<b>Téledétection spatiale I</b>	2020	111	<a href="https://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/143553">https://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/143553</a>	Ancienne version de ce manuel-ci basée essentiellement sur le logiciel payant ENVI. Données fournies.
<b>Téledétection spatiale II</b>	2024	461	<a href="https://orbi.uliege.be/handle/2268/240835">https://orbi.uliege.be/handle/2268/240835</a>	Ce manuel-ci, avec données et logiciels libres. Données fournies. Ce manuel reprend la très grande majorité du contenu du manuel « Téledétection spatiale I » mais adapté avec données et logiciels libres, souvent en version améliorée, et présente une série d'exercices et ressources supplémentaires.

Egalement disponible, une « **Revue des modes de représentation de l'information spatiale** »

- <https://orbi.uliege.be/handle/2268/241653> (2021)

**Toutes les publications de l'auteur** sont disponibles en libre accès ici :

- <https://orbi.uliege.be/profile?uid=p005248>  
<https://orbi.uliege.be/browse?type=author&value=Denis%2C+Antoine+p005248>

# Table des matières

Avant-propos .....	2
Du même auteur.....	3
Table des matières .....	4
<b>1. Introduction .....</b>	<b>18</b>
1.1. Objectifs de ce manuel.....	18
1.2. Accès aux données et ressources relatives à ce manuel .....	19
1.3. Conseil d'utilisation de ce manuel .....	20
1.4. Liens avec les cours ULIEGE.....	21
<b>2. Notions de télédétection - Quelques rappels théoriques .....</b>	<b>22</b>
2.1. La télédétection.....	22
2.2. La lumière et les longueurs d'ondes .....	24
2.3. La réflectance solaire .....	25
2.4. La signature spectrale et les capteurs satellites .....	26
2.5. Exemples d'applications de la télédétection .....	28
2.6. Les différents types de résolutions des images satellites .....	29
2.6.1. Résolution spatiale .....	29
2.6.2. Résolution temporelle (d'une série temporelle d'images ou d'un capteur) .....	29
2.6.3. Résolution spectrale .....	30
2.6.4. Résolution radiométrique .....	31
2.7. Longueurs d'ondes et fréquences du spectre électromagnétique .....	32
<b>3. Découverte de « Google Earth Pro » .....</b>	<b>33</b>
<b>4. Ouverture et visualisation d'une image satellite dans QGIS.....</b>	<b>39</b>
4.1. Présentation de l'image satellite utilisée .....	40
4.2. Visualisation des fichiers correspondant à l'image satellite dans l'explorateur de l'ordinateur .....	42
4.3. Ouverture du projet QGIS à utiliser .....	43

4.4.	Définition du SCR du projet QGIS .....	43
4.5.	Ajout des bandes spectrales individuelles d'une image satellite dans un projet QGIS et visualisation des bandes en « dégradé de gris » .....	43
4.6.	Accès aux propriétés des bandes spectrales d'une image satellite .....	44
4.7.	Fusion de bandes spectrales individuelles d'une image satellite en un seul fichier unique multi-bandes .....	46
4.8.	Visualisation de compositions colorées d'une image satellite .....	48
4.8.1.	Composition « vraies couleurs » et composition « fausses couleurs » .....	48
4.8.2.	Amélioration de la visualisation d'une image satellite .....	51
4.8.2.1.	Symbologie .....	51
4.8.2.2.	Transparence .....	54
4.8.2.3.	Rendu .....	54
4.8.2.4.	Pyramides .....	54
4.9.	Autres outils d'interrogation des images .....	55
4.9.1.	L'outil « Identifier les entités » .....	55
4.9.2.	Outil de mesures de distances, superficies et angles .....	56
<b>5.</b>	<b>Analyse de changement simple dans QGIS .....</b>	<b>57</b>
5.1.	Accès aux images satellites basse résolution de type NDVI du capteur SPOT-VEGETATION: recherche et téléchargement .....	60
5.2.	Analyse visuelle des images satellites NDVI basse résolution .....	68
5.3.	Analyse de changement mathématique .....	75
5.3.1.	Différence mathématique avec la « Calculatrice Raster » .....	75
5.3.2.	Gestion des pixels ne correspondant pas à du NDVI .....	79
5.3.2.1.	Création d'un raster de masque binaire « 0-1-sans donnée » .....	79
5.3.2.2.	Masquage de l'image de changement de NDVI par le raster de masque binaire 0-1-sans donnée .....	85
5.3.3.	Choix d'une symbologie appropriée .....	87
<b>6.</b>	<b>Analyse de séries temporelles d'images sur bases d'applications web .....</b>	<b>93</b>
6.1.	« QuickMapServices » (QMS) via QGIS .....	95
6.2.	Google Earth Pro Desktop .....	97
6.3.	Google EarthEngine Timelapse .....	100

6.4.	Global Forest Change par « University of MARYLAND ».....	102
6.5.	EO Browser.....	104
6.5.1.	Analyse sur la partie Nord du territoire étudié.....	105
6.5.2.	Analyse sur une parcelle déforestée.....	109
6.6.	Time series viewer SPOT-VGT & PROBA-V.....	112
6.7.	Terrascope.....	118
6.8.	Viewer quotidien des images PROBA-V.....	119
6.9.	Système mondial d'information et d'alerte rapide sur l'alimentation et l'agriculture (SMIAR).....	120
6.10.	Fonte des glaces du pôle Nord.....	121
<b>7.</b>	<b>Manipulations de données hyperspectrales dans QGIS .....</b>	<b>122</b>
7.1.	Introduction.....	123
7.2.	Manipulation de données hyperspectrales ponctuelles (ASD) dans « ViewSpecPro » .....	124
7.3.	Manipulation de données hyperspectrales images (CHRIS-PROBA) .....	126
7.3.1.	Présentation de l'image hyperspectrale .....	126
7.3.2.	Manipulations et analyses à partir de l'image hyperspectrale .....	127
7.3.2.1.	Compositions colorées de l'image hyperspectrale .....	127
7.3.2.2.	Affichage de la signature spectrale de différentes occupations du sol .....	128
7.3.2.3.	Graphique 2D de bandes spectrales 2 à 2 .....	130
7.3.2.4.	Cube hyperspectral .....	132
7.3.2.5.	Importance du « Fichier entête » ou « Header file ».....	133
<b>8.</b>	<b>Classification supervisée d'images satellites multispectrales et analyse diachronique : méthode simple et méthode avancée (dans QGIS) .....</b>	<b>134</b>
8.1.	INFORMATIONS PREALABLES IMPORTANTES !.....	135
8.1.1.	METHODE SIMPLE & METHODE AVANCEE.....	135
8.1.2.	Traitements déjà réalisés .....	136
8.2.	Introduction et objectifs.....	136
8.2.1.	Objectifs.....	136

8.2.2.	Etapas méthodologiques principales .....	136
8.2.3.	Choix du logiciel : QGIS 3.34 ou version ultérieure .....	139
8.2.4.	Contextualisation.....	139
8.3.	Préparation du projet QGIS.....	142
8.3.1.	Création d'un nouveau projet QGIS ou ouverture du projet QGIS préexistant.....	142
8.3.2.	Identification du système de coordonnées à utiliser .....	143
8.3.3.	Présentation et installation du plugin « Semi-Automatic Classification Plugin » (SCP).....	144
8.4.	Données auxiliaires : présentation, création, acquisition et prétraitements .....	148
8.4.1.	Données auxiliaires vectorielles .....	148
8.4.2.	Données auxiliaires raster .....	149
8.4.2.1.	Raster d'altitude.....	149
8.4.2.1.1.	Téléchargement du Modèle Numérique de Terrain (MNT) .....	150
8.4.2.1.2.	Ajout des 4 MNT dans QGIS.....	153
8.4.2.1.3.	Fusion des 4 MNT .....	153
8.4.2.1.4.	Reprojection du MNT fusionné dans le bon système de coordonnées .....	153
8.4.2.1.5.	Découpage du MNT sur la zone d'étude.....	154
8.4.2.1.6.	Rééchantillonner le MNT à une taille de pixel plus faible.....	155
8.4.2.2.	Raster de proximité aux rivières .....	156
8.5.	Acquisition des images satellites.....	157
8.5.1.	Choix des dates des images satellites, notamment pour une analyse diachronique.....	157
8.5.1.1.	Comparabilité des images vs variations météorologiques saisonnières et interannuelles .....	157
8.5.1.2.	Saison/période vs classes d'occupation du sol .....	157
8.5.1.3.	Disponibilité des images vs couverture nuageuse.....	158
8.5.2.	Recherche, choix et téléchargement des images satellites dans le cadre de cet exercice.....	158
8.5.2.1.	Analyse à faire avant le téléchargement des images satellites .....	158
8.5.2.1.1.	Recherche et identification des capteurs satellites .....	159
8.5.2.1.2.	Analyse des conditions climatiques et météorologiques.....	160
8.5.2.2.	Remarque méthodologique sur la recherche et le téléchargement des images satellites : site web vs plugin SCP de QGIS.....	164

8.5.2.3.	Recherche et téléchargement de l'image Landsat-5 via le site web « EarthExplorer » et décompression de l'image.....	165
8.5.2.3.1.	Recherche de l'image Landsat-5 via le site web « Earth Explorer ».....	165
8.5.2.3.2.	Téléchargement de l'image Landsat-5 via le site web « Earth Explorer ».....	170
8.5.2.3.3.	Décompression de l'image Landsat-5 téléchargée via le site web « Earth Explorer ».....	171
8.5.2.4.	Recherche, téléchargement et décompression des images Sentinel-2 via le site web « SciHub » (NON mis à jour !)	175
8.5.2.4.1.	Recherche des images Sentinel-2 via le site web « Scihub » .....	175
8.5.2.4.2.	Téléchargement des images Sentinel-2 via le site web « Scihub » .....	180
8.5.3.	Présentation des caractéristiques techniques des images sélectionnées .....	180
8.5.4.	Téléchargement des images avec prétraitements dans la foulée via le plugin SCP dans QGIS (NON mis à jour)	183
8.5.4.1.	Connexion aux sites web sources des images satellites via le plugin SCP dans QGIS .....	184
8.5.4.2.	Recherche d'images via le plugin SCP dans QGIS .....	185
8.5.4.3.	Options de téléchargement des images via le plugin SCP dans QGIS .....	187
8.5.4.4.	Prétraitement des images dans la foulée du téléchargement via le plugin SCP dans QGIS .....	189
8.5.4.5.	Téléchargement des images avec prétraitement dans la foulée via le plugin SCP dans QGIS .....	190
8.6.	Prétraitements des images satellites non couplés au téléchargement via le plugin SCP dans QGIS.....	193
8.6.1.	Conversion de radiance vers réflectance / correction atmosphérique DOS1 et création d'un « Jeu de bandes » (NON mis à jour)	193
8.6.2.	Création d'un « Jeu de bandes » et affichage des images dans QGIS.....	195
8.6.2.1.	Création d'un « Jeu de bandes ».....	195
8.6.2.2.	Affichage d'une composition colorée des images satellites.....	197
8.6.3.	Découpage spatial de l'image sur la zone d'intérêt (en anglais : « Spatial subset », « clip », « crop »).....	200
8.6.4.	Regroupement/assemblage des bandes spectrales individuelles d'une image dans un fichier image unique multi-bandes (anglais : layer stacking).....	202
8.6.5.	Pan-sharpening.....	202

8.6.6.	Rééchantillonnage des images vers une plus faible résolution spatiale (anglais : resampling).....	203
8.6.7.	Mosaïquage de 2 images voisines .....	204
8.6.8.	Mosaïquage de 2 images Sentinel-2 superposées pour réduire/supprimer la couverture nuageuse .....	205
8.6.8.1.	Concept de reconstruction d'image dés-ennuagée.....	205
8.6.8.2.	Les grandes étapes du mosaïquage .....	207
8.6.8.3.	Création d'un masque de nuage .....	207
8.6.8.3.1.	Création d'un masque de nuages à partir d'un fichier vectoriel de masque existant .....	208
8.6.8.3.2.	Création d'un masque de nuages par classification des nuages dans l'image à masquer.....	210
8.6.8.4.	Appliquer le masque de nuages sur une image.....	211
8.6.8.5.	Mosaïquer l'image masquée et la deuxième image .....	212
8.6.9.	Création de néocanaux (indices de végétation, ACP, etc) .....	214
8.6.9.1.	Calcul de divers indices .....	214
8.6.9.2.	Analyse en Composantes Principales (ACP).....	214
8.6.10.	Géoréférencement .....	215
8.6.10.1.	Géoréférencement par point de calage ou GCP .....	215
8.6.10.2.	Géoréférencement de type « image à image » .....	216
8.6.11.	Masque de nuages multi-dates, applicable à chacune des 2 images de l'analyse diachronique, Landsat-5 et Sentinel-2 mosaïquée.....	216
8.6.11.1.	Principe de création d'un masque de nuages multi-dates .....	216
8.6.11.2.	Création d'un masque de nuages pour l'image Landsat-5 .....	217
8.6.11.3.	Création d'un masque de nuages pour l'image Sentinel-2 mosaïquée	220
8.6.11.4.	Création du « masque fusionné » ou « masque somme » de nuages applicable aux images Landsat-5 et Sentinel-2.....	222
8.6.11.5.	Application du « masque fusionné » ou « masque somme » à chacune des 2 images .....	223
8.7.	Observation des images et identification des classes d'occupation du sol .....	225
8.7.1.	De l'importance de l'observation des images .....	225
8.7.2.	Identification des classes d'occupation du sol .....	225
8.7.3.	Présentation de la description des classes d'occupation du sol .....	227

8.7.4.	Observation des images en 2D .....	231
8.7.4.1.	Visualiser l'image en composition vraies et fausses couleurs .....	231
8.7.4.2.	Amélioration de contraste .....	233
8.7.5.	Observation multi-temporelle.....	234
8.7.6.	Observation des images en 3D via une représentation du relief naturel.....	235
8.7.7.	Utilisation de données complémentaires pour la photo-interprétation d'une image .....	238
8.8.	Classification supervisée par maximum de vraisemblance .....	240
8.8.1.	La classification supervisée par maximum de vraisemblance, une méthode de classification parmi d'autres.....	240
8.8.2.	La classification supervisée : un processus itératif.....	242
8.8.3.	Sélection des « ROI – Region Of Interest » de calibration ou aires d'entraînement pour chaque classe : bonnes pratiques.....	242
8.8.4.	Création des ROI de calibration dans SCP .....	245
8.8.4.1.	Préalables à la création de ROI .....	245
8.8.4.1.1.	Définir le « Jeu de bandes » à considérer pour la création des ROI.....	245
8.8.4.1.2.	Paramétrage des préférences SCR de QGIS.....	246
8.8.4.2.	Création d'un fichier de ROI dans SCP .....	247
8.8.4.3.	Sauvegarde / rappel de ROI .....	250
8.8.5.	Prévisualisation de la classification .....	251
8.8.6.	Application de la classification .....	252
8.8.7.	Etude de la séparabilité spectrale des classes spectrales.....	255
8.8.7.1.	Graphique des signatures spectrales.....	256
8.8.7.2.	Indices de séparabilité spectrale.....	257
8.8.8.	Classification rapide des nuages en vue de la réalisation d'un masque de nuages amélioré .....	258
8.9.	Amélioration de la classification par reclassification conditionnelle et données auxiliaires.....	262
8.9.1.	Introduction.....	262
8.9.2.	Préparation des données auxiliaires contenant les paramètres utiles à la reclassification conditionnelle.....	262
8.9.3.	Reclassifications conditionnelles en pratique .....	263
8.10.	Post-traitements d'une image classifiée pour en améliorer le rendu visuel ou la raffiner .....	265

8.11. Evaluation de la précision de la classification par « matrice de confusion » ou « table de contingence » .....	267
8.11.1. Considérations générales sur l'évaluation de la qualité d'une classification 267	
8.11.1.1. Evaluation de la qualité d'une classification et notions de calibration vs validation .....	267
8.11.1.2. Stratégies d'échantillonnage des zones de validation (ROI de validation).....	270
8.11.1.3. De la qualité d'une classification.....	271
8.11.2. Validation par échantillonnage stratifié aléatoire.....	272
8.11.2.1. Ressources complémentaires .....	272
8.11.2.2. Les grandes étapes.....	272
8.11.2.3. Calcul du nombre de points de validation par classe .....	272
8.11.2.4. Création des points de validation .....	274
8.11.2.5. Attribution des classes aux ROI de validation via photo- interprétation (ou autre technique) .....	276
8.11.2.6. Création de la matrice de confusion (avant et après regroupement des classes et/ou post-traitements) .....	277
8.11.2.7. Matrice de confusion : construction et interprétation, un exemple illustré	280
8.12. Matrice de transition.....	284
8.12.1. Définition de la matrice de transition .....	284
8.12.2. Création de la matrice de transition.....	284
8.12.3. Interprétation de la matrice de transition .....	285
8.12.4. Mise en relation des précisions de classification et de l'ampleur des changements détectés .....	285
8.13. Graphiques exprimant l'évolution de l'occupation du sol.....	286
8.13.1. Histogramme par classe .....	287
8.13.2. Camembert par classe .....	287
8.14. Réalisation de cartes d'occupation du sol - Mise en page cartographique.....	288
8.15. Discussion et limitations de l'approche .....	289

**9. Analyse de données SAR SENTINEL-1 (télédétection active) pour la cartographie d'inondation dans SNAP (en anglais) ..... 290**

9.1. Tutoriel source: “ESA Echoes in Space - Hazard: Flood mapping with Sentinel-1 (ESA EO College)” .....	291
9.2. Objective (video timing: 0 min 00 sec).....	291
9.3. Technical description of the 2 Sentinel-1 images used.....	291
9.4. Download of the 2 Sentinel-1 images (not in the video) .....	293
9.5. SNAP software - Download and installation (not in the video) .....	294
9.6. Opening of the 2 Sentinel-1 images in SNAP (video timing: 0 min 30 sec).....	295
9.7. Main steps of the workflow described in this section (video timing: 2 min 18 sec) .....	296
9.8. Visual analysis of the 2 images side by side (video timing: 3 min 09 sec) .....	297
9.9. Analysis of images Metadata (video timing: 3 min 15 sec).....	298
9.10. Spatial subset of the images, on an area common to the 2 images, where the main floods occur (video timing: 3 min 53 sec).....	299
9.11. Intermediate steps: closing/opening images (video timing: 6 min 00 sec) .....	300
9.12. Multilooking (video timing: 6 min 30 sec).....	301
9.13. Radiometric Calibration (video timing: 7 min 35 sec).....	302
9.14. Intermediate steps: visualization (video timing: 8 min 22 sec) .....	303
9.15. Terrain Correction (video timing: 10 min 22 sec) .....	305
9.16. Visualization of the terrain corrected images (video timing: 11 min 32 sec) .....	306
9.17. Combination of the Archive and Crisis images to produce a RGB composite of the flooded area, preliminary step: images stack (video timing: 13 min 25 sec).....	308
9.18. Overlay of the stacked images for visual comparison of the 2 images (optional). 310	
9.19. RGB composite image (video timing: 16 min 50 sec).....	311
9.20. Interpretation of the RGB composite image (video timing: 17 min 28 sec) .....	312
9.21. Exportation of the RGB composite of the flood map in another format and visualization of the result in GOOGLE EARTH PRO (video timing: 19 min 22 sec) 313	
9.22. Autre tutoriel: Satellite Remote Sensing of Flood Monitoring and Management (NASA ARSET).....	315

## **10. Cartographie d’inondations par télédétection RADAR (Sentinel-1) et multispectrale (Sentinel-2) ..... 316**

10.1. Accès à l’application EO BROWSER .....	317
10.2. Visualisation de zones irriguées sur une image RADAR Sentinel-1 .....	317

10.3. Visualisation d'une zone inondée sur une image RADAR Sentinel-1 et sur une image multispectrale Sentinel-2.....	319
10.4. Emergency Management Service - Mapping : EMS Copernicus .....	322
10.5. Déformations géométriques des images RADAR Sentinel-1 liées au relief.....	323
<b>11.SPIRITS : Analyse d'une série temporelle d'images NDVI basse résolution dans SPIRITS .....</b>	<b>325</b>
11.1. Contenu du dossier de l'exercice .....	326
11.2. Introduction et motivation.....	327
11.3. Grandes étapes.....	328
11.4. Téléchargement des données .....	328
11.4.1. Commande des images NDVI via le « Copernicus Global Land Service »	328
11.4.2. Téléchargement via « FileZilla Client » des images NDVI commandée...	335
11.4.3. Dé-compression des images téléchargées .....	336
11.4.4. Téléchargement des fichiers vectoriels shapefile .....	339
11.5. Aperçu des données dans QGIS (facultatif) .....	340
11.6. Utilisation de SPIRITS.....	340
11.6.1. Téléchargement et installation de SPIRITS.....	340
11.6.2. Démarrage de SPIRITS et découverte de l'interface .....	340
11.6.3. Création d'un projet SPIRITS.....	341
11.6.4. Importation des images dans SPIRITS et conversion de leur format .....	344
11.6.5. Visualisation d'une série d'images NDVI .....	349
11.6.5.1. Création d'un « map template » ou template de carte (QNG).....	350
11.6.5.2. Production d'une série de cartes à partir d'un « map template »	350
11.6.6. Extraction de statistiques à partir des images NDVI .....	353
11.6.6.1. Création de la structure de la base de données .....	353
11.6.6.2. Création de l'image raster des zones d'intérêt pour l'extraction des statistiques .....	360
11.6.6.3. Extraction des statistiques sur les valeurs de NDVI à partir des images	362
11.6.6.4. Visualisation des profils temporels de NDVI par région .....	366
11.6.7. Lissage temporel des images NDVI et extraction des statistiques.....	373
11.6.7.1. Concept du lissage temporel d'images satellites.....	373

11.6.7.2. Lissage temporel des images NDVI .....	373
11.6.7.3. Extraction des statistiques sur les images NDVI lissées temporellement .....	375
11.6.8. Création de carte d'anomalie .....	378
11.6.8.1. Calcul de « Long Term Average » (LTA) des images NDVI .....	378
11.6.8.2. Calcul d'anomalie du NDVI via la méthode « Relative difference »	380
11.6.8.3. Visualisation des images d'anomalie de NDVI .....	382
11.6.9. Analyse des variables phénologiques.....	386
11.6.9.1. Présentation du concept d'extraction de variables phénologiques à partir de courbes d'évolution du NDVI .....	386
11.6.9.2. Calcul des variables phénologiques à partir des images NDVI temporellement lissées (résultat = des images correspondant à des paramètres phénologiques).....	387
11.6.9.3. Visualisation des images correspondant aux paramètres phénologiques.....	390
11.6.9.4. Création de la structure de la base de données pour accueillir les variables phénologiques .....	397
11.6.9.5. Extraction des statistiques par zone (RUM) pour les variables phénologiques.....	398
11.6.9.6. Visualisation des statistiques par zone (RUM) pour les variables phénologiques.....	400

## **12.BFAST : Breaks For Additive Season and Trend (dans R et RSTUDIO) .....**

12.1. Introduction.....	404
12.2. Contenu du dossier de l'exercice .....	404
12.3. Présentation de BFAST (package de R) .....	405
12.3.1. Fonction "BFAST" .....	405
12.3.2. Fonction « BFASTmonitor ».....	406
12.4. Tutoriel source .....	408
12.5. Installation des 2 logiciels R et RSTUDIO.....	409
12.5.1. Téléchargement et installation de R .....	409
12.5.2. Téléchargement et installation de R STUDIO .....	409

12.6. Présentation des images MODIS « MOD13Q1 ».....	410
12.7. Présentation du MODIS « Fixed Sites Subsets Tool » .....	412
12.8. Utilisation de BFAST dans R et RSTUDIO .....	414
<b>13. Autres outils d'analyses de séries temporelles d'images satellites</b> .....	<b>416</b>
13.1. AppEEARS - Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples.....	416
13.2. LandTrendr via Google Earth Engine .....	416
13.3. MODIS NDVI Time Series.....	416
13.4. Time series analysis in remote sensing by LUND UNIVERSITY.....	416
13.5. QGIS EO Time Series Viewer .....	417
<b>14. Introduction à GOOGLE EARTH ENGINE (GEE) .....</b>	<b>418</b>
14.1. Préalable !! .....	419
14.2. Présentation de Google Earth Engine (GEE) (30 min) .....	419
14.2.1. Page web principale.....	419
14.2.2. Vidéo d'introduction (2 minutes) .....	420
14.2.3. Timelapse.....	420
14.2.4. Exemples de cas d'étude avec GEE.....	421
14.2.5. Les datasets .....	421
14.2.6. 2 Interfaces: EXPLORER et CODE EDITOR .....	422
14.2.6.1. EXPLORER .....	422
14.2.6.2. CODE EDITOR: .....	422
14.2.7. Documentations .....	424
14.3. Exercices .....	425
14.3.1. GEE EXPLORER .....	425
14.3.1.1. Découverte de l'EXPLORER et classification supervisée (20 minutes)	425
14.3.1.2. Advanced - Visualizing change over time (5 min) .....	426
14.3.1.3. Raster de classification (2 minutes) .....	427
14.3.1.4. Advanced - Viewing Classified Rasters (5 min) .....	427
14.3.2. GEE CODE EDITOR.....	427

14.3.2.1. Découvrir et visualiser une collection via le code editor (45 minutes)	427
14.3.2.2. Tutoriel officiel « The Earth Engine API ».....	431
14.3.2.2.1. Visualizing Images and Image Bands (20 minutes) .....	431
14.3.2.2.2. Computations using Images (20 min) .....	432
14.3.2.2.3. Image Collections (20 minutes) .....	433
14.3.2.2.4. Compositing, Masking, and Mosaicking (20 minutes) .....	434
14.3.2.2.5. NDVI, Mapping a Function over a Collection, Quality Mosaicking.....	436
14.3.2.2.6. Exporting Charts and Images .....	436
14.3.2.3. Landsat Algorithms .....	436
14.4. Ressources complémentaires .....	436
<b>15. Visionnage de la vidéo « HOLOGLOBE » .....</b>	<b>437</b>
15.1. Présentation de la vidéo « HOLOGLOBE » .....	437
15.2. Traduction des commentaires de la vidéo HOLOGLOBE_v3.....	438
<b>16. Sites web intéressants .....</b>	<b>440</b>
16.1. Applications environnementales .....	440
16.2. Divers.....	440
<b>17. Exemples d'applications de la télédétection spatiale pour la gestion des risques et des catastrophes .....</b>	<b>442</b>
17.1. Copernicus Emergency Management Service (Copernicus EMS) .....	442
17.2. Le SERTIT, le Service régional de traitement d'image et de télédétection (France) .....	444
17.3. La Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures.....	444
17.4. Exemples supplémentaires d'applications de la télédétection spatiale pour la gestion des risques et des catastrophes par outils ou thématique .....	446
<b>18. Recherche d'images satellites sur le web .....</b>	<b>452</b>
<b>19. Ressources complémentaires en ligne .....</b>	<b>456</b>
19.1. ARSET NASA Applied Remote Sensing Training .....	456
19.2. SNAP de l'ESA .....	456
19.3. EO College - The first Massive Open Online Course on Radar Remote Sensing ....	456
19.4. SERVIR Training Materials .....	457

19.5. EO LEARN.....	457
19.6. Pôle THEIA .....	458
19.7. Newcomers Earth Observation Guide.....	458
19.8. Eduspace (ESA) .....	458
19.9. "From GIS to Remote Sensing" .....	458
<b>20. Newsletters auxquelles s'abonner .....</b>	<b>459</b>
<b>21. Quelques logiciels de télédétection spatiale .....</b>	<b>460</b>
<b>22. Liste de logiciels utilisés dans ce manuel .....</b>	<b>461</b>

# 1. Introduction

## 1.1. Objectifs de ce manuel

Ce manuel présente une série d'exercices de télédétection spatiale, **prêts à l'emploi**, avec **données et logiciels libres**. Les exercices vont du « **niveau découverte** » à un « **niveau plus avancé** » tout en restant très abordables pour des étudiants de Master 1 et 2. Les exercices peuvent se réaliser **en autonomie** grâce aux instructions méthodologiques détaillées et aux nombreuses illustrations. En plus des exercices en tant que tels de nombreuses **ressources complémentaires** sont proposées (sites web, applications).

Ce manuel propose :

- La présentation de **quelques concepts de base** via quelques rappels théoriques
- Des exercices de **pure découverte** via
  - La découverte d'applications web (Google Earth Pro, portails web) permettant de visualiser des images satellites et de réaliser des analyses sommaires
  - L'exploration de base d'une image satellite dans QGIS (ouverture, description technique, technique de visualisation 2D et 3D, etc)
- La présentation de quelques **portails web** mettant à disposition au téléchargement des images satellites de différents types : USGS Earth Explorer, Copernicus Open Access Hub,...
- Une **variété de techniques d'analyse de données d'observation de la terre** :
  - Analyse de changement visuelle et mathématique
  - Analyse de séries temporelles d'images via des applications web et des logiciels spécialisés (SPIRITS, R et RSTUDIO)
  - Classification supervisée d'images satellites multispectrales
  - Analyse diachronique pour étudier l'évolution de l'occupation du sol
  - La cartographie de zones inondées par télédétection RADAR (SAR-Sentinel-1)
  - La découverte de Google Earth Engine et la possibilité de travailler facilement à l'échelle de la planète via le cloud
- Appliquées sur une **variété de type d'images** :
  - De diverses résolutions spectrales : multispectrale, hyperspectrale, RADAR
  - De diverses résolutions spatiales : basse à très haute résolution spatiale
- Avec des **outils, logiciels ou applications web**, récents et libres : QGIS, SPIRITS, SNAP, R et RSTUDIO, Google Earth Engine, Google Earth Pro, EO Browser, etc
- La présentation de **nombreuses ressources en ligne supplémentaires** : sites web intéressants, exemples d'applications liées à la gestion des risques et des catastrophes, sites web de référence mettant à disposition des tutoriaux, etc

## 1.2. Accès aux données et ressources relatives à ce manuel

Ce **manuel** et les **données** nécessaires pour faire les exercices sont disponibles gratuitement via le site web ORBI de l'ULIEGE à l'adresse :

- <https://orbi.uliege.be/handle/2268/240835>



**Attention !**, l'ensemble des données est très volumineux (~3.5 Go pour l'ensemble du manuel). **Ne téléchargez donc PAS systématiquement toutes les données** mises à disposition mais uniquement les données nécessaires pour les exercices que vous entreprenez. **L'encadré en début de chaque section du manuel** vous indiquera quel dossier vous devrez télécharger pour mener à bien cette section. Vous téléchargerez ces données sur votre ordinateur en local.



**Attention !**, le répertoire qui accueillera les données sur votre ordinateur personnel :

- Ne doit **pas être trop longs** : idéalement votre répertoire de travail doit se trouver proche de la racine d'un disque dur (proche de la lettre du disque dur)
- Ne doit **pas contenir de caractères spéciaux** (é, à, è, -, etc) **ou espace** (préférez l'underscore « \_ ») mais uniquement des chiffres ou des lettres de base sans accents.

**Téléchargez** le/les dossiers d'intérêt

Placez chaque dossier téléchargé **dans votre répertoire de travail**.

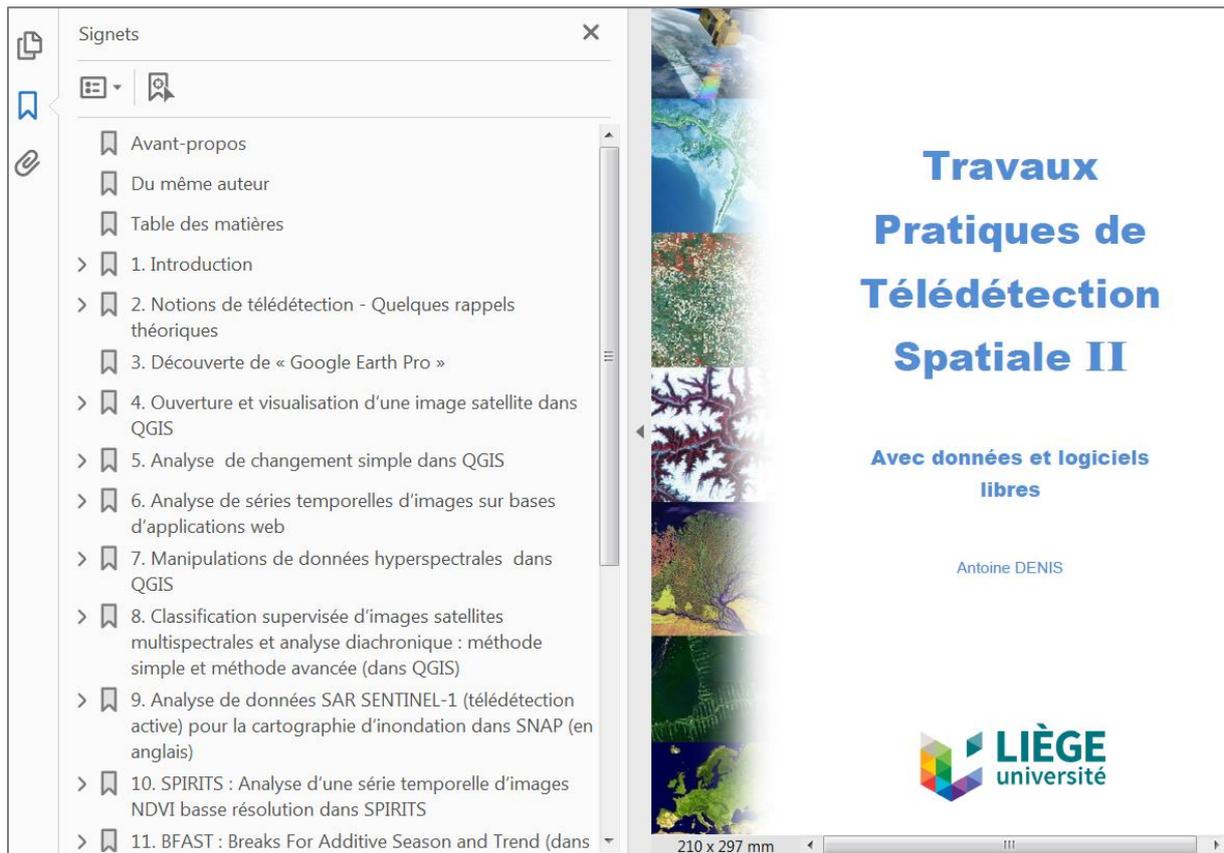
**Décompressez/dézippez** les dossiers compressés avant de les utiliser.

Les **données** non directement disponibles sur ORBI (parce que trop volumineuses) sont téléchargeables à partir des **sites web renseignés** dans chacune des sections.

### 1.3. Conseil d'utilisation de ce manuel

Aidez-vous, pour naviguer dans ce document, de la **table des matières** et des « **signets** » du document PDF disponibles via le panneau latéral de gauche de ce document (Figure 1).

Vous remarquerez que de nombreux hyperliens renvoyant à des sections parfois éloignées dans le document sont utilisés. Pour revenir facilement à l'endroit à partir duquel l'hyperlien a été cliqué, utilisez, dans le logiciel Adobe Acrobat Reader, les touches « **alt flèche gauche** ».



**Figure 1 : Utilisez les signets pour naviguer plus facilement dans ce manuel !**

## 1.4. Liens avec les cours ULIEGE

Ce document est le manuel des travaux pratiques de télédétection spatiale utilisé pour les cours [ULIEGE](#) (Belgique) suivants :

- ENVT2027-3 : 30 heures de TP dont 12 en télédétection
- ENVT2027-4 : 24 heures de TP dont 12 en télédétection
- RISQ2018-1 : 36 heures de TP dont 18 en télédétection

Les parties de ce manuel vues lors de ces différents cours sont sélectionnées en fonction des objectifs spécifiques de chaque cours.

Ce manuel présente, en plus des exercices réalisés dans le cadre de ces cours avec les étudiants, une série de ressources supplémentaires.

## 2. Notions de télédétection - Quelques rappels théoriques

### 2.1. La télédétection

La **télédétection** (détection à distance, Remote Sensing (RS) en anglais) désigne, dans son acception la plus large, la mesure ou l'acquisition d'informations sur un objet ou un phénomène, par l'intermédiaire d'un instrument de mesure n'ayant pas de contact avec l'objet étudié (**Figure 2**).

C'est l'utilisation à distance (par exemple, d'un drone, d'un avion, d'un engin spatial, d'un satellite ou encore d'un bateau) de n'importe quel type d'instrument permettant l'acquisition d'informations sur l'environnement. On fait souvent appel à des instruments tels qu'appareils photographiques, lasers, radars, sonars, sismographes ou gravimètres.

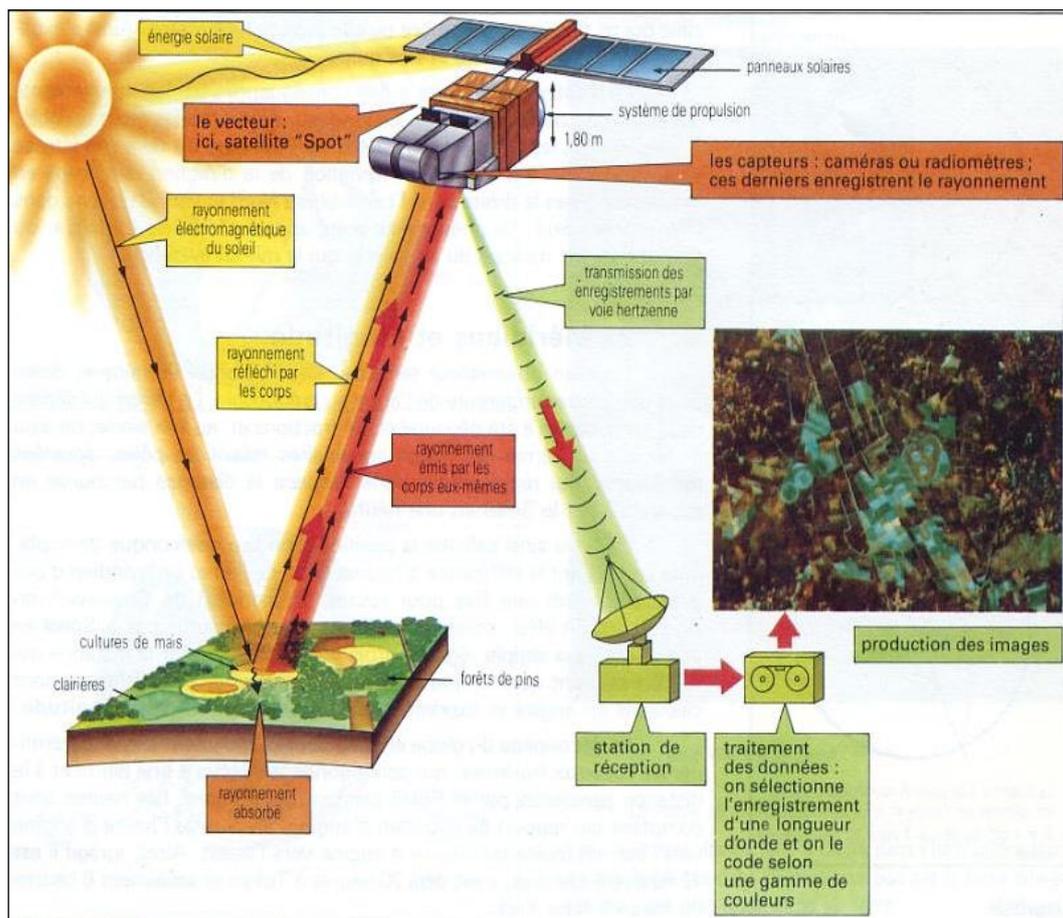


Figure 2 : Principe de la télédétection spatiale passive (Source : <http://www.alertes-meteo.com/>)

L'on distingue en général les moyens de **télé-détection « actif »** et **« passif »** (Figure 3):

- **Télé-détection passive:** enregistrement du rayonnement naturel, fourni par la lumière ou la chaleur, qu'il soit émis, réfléchi ou réfracté (ex : photographies aériennes du paysage éclairé par la lumière du soleil ainsi que certaines images satellitaires comme SENTINEL-2, LANDSAT, IKONOS, SPOT,...)
- **Télé-détection active :** enregistrement du rayonnement que réfléchit l'objet ou le paysage « illuminé » par l'appareil de mesure (ex : images radar (SENTINEL-1,...))

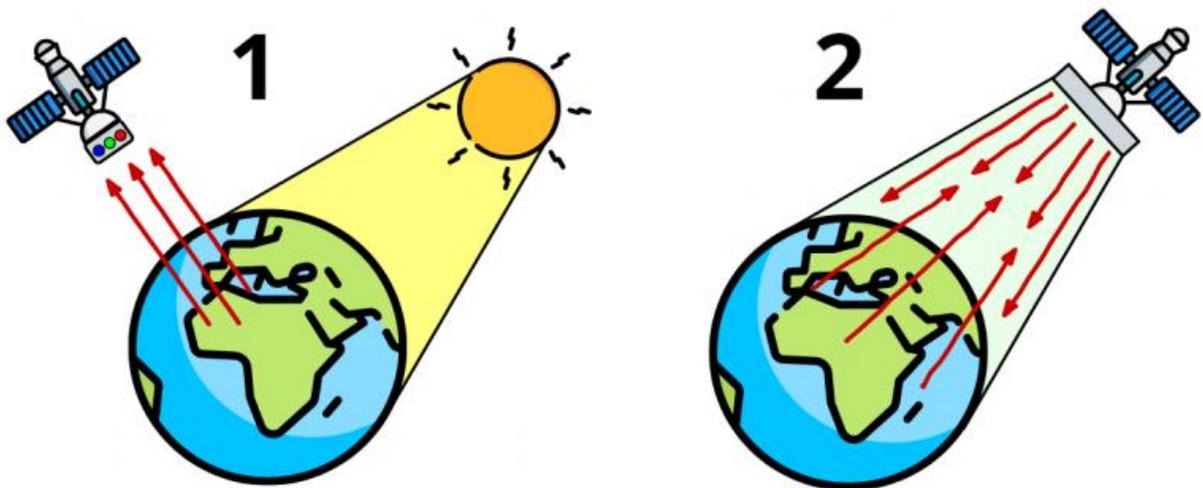


Figure 3 : Illustration des principes de télé-détection passive (à gauche) et de télé-détection active (à droite). (Source de l'illustration : <https://paititi.info/research-technology/remote-sensing-from-space/>)

La télé-détection spatiale, **dans le domaine de l'aéronautique**, est l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer les caractéristiques de la surface et de l'atmosphère de la Terre ou d'une autre planète, par des mesures effectuées à partir d'un engin spatial évoluant à distance convenable de cette dernière. Le terme correspondant en anglais est « remote sensing from space ».

La **télé-détection spatiale** mesure les rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchis des objets étudiés (végétation, sol, bâti, surfaces d'eau ou masses d'air, etc) dans un certain domaine de longueurs d'ondes ou fréquences (infrarouge, visible, micro-ondes - voir Annexe 3). Le rayonnement électromagnétique émis ou réfléchis par ces objets peut varier en intensité selon la nature de ces objets et selon leur état (teneur en eau, chaleur, etc), ce qui permet d'utiliser ce rayonnement électromagnétique pour les identifier et les caractériser.

Certains instruments de télé-détection utilisent des ondes sonores de façon similaire, et d'autres mesurent des variations dans des champs magnétiques ou gravitaires.

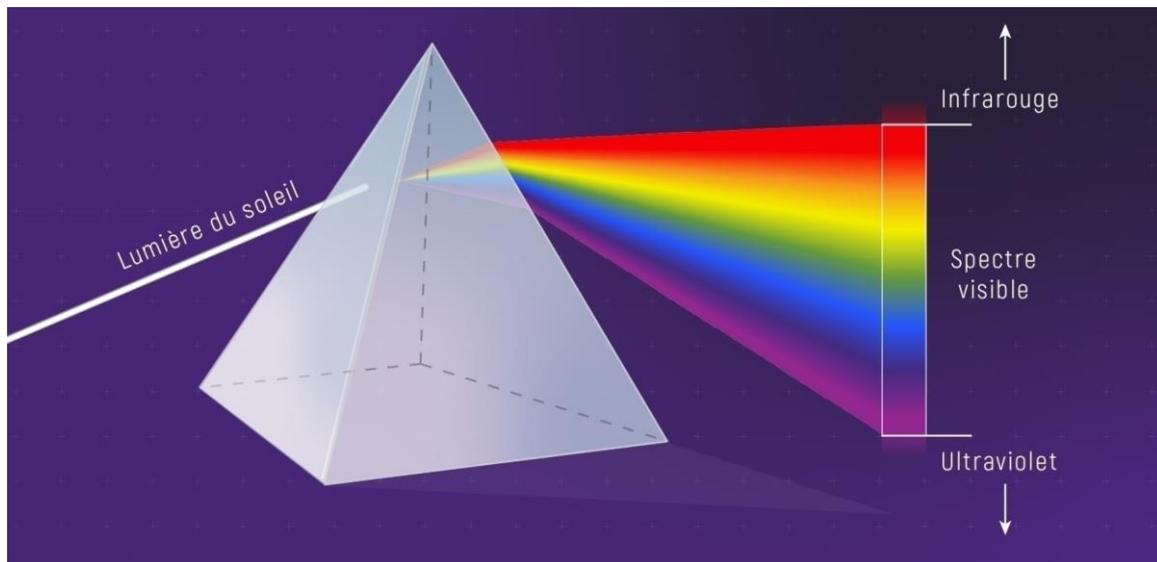
## 2.2. La lumière et les longueurs d'ondes

La **lumière blanche** du soleil se décompose en **lumières colorées de l'arc-en-ciel** qui correspondent chacune à une **longueur d'onde spécifique** (confer les 2 figures ci-dessous).

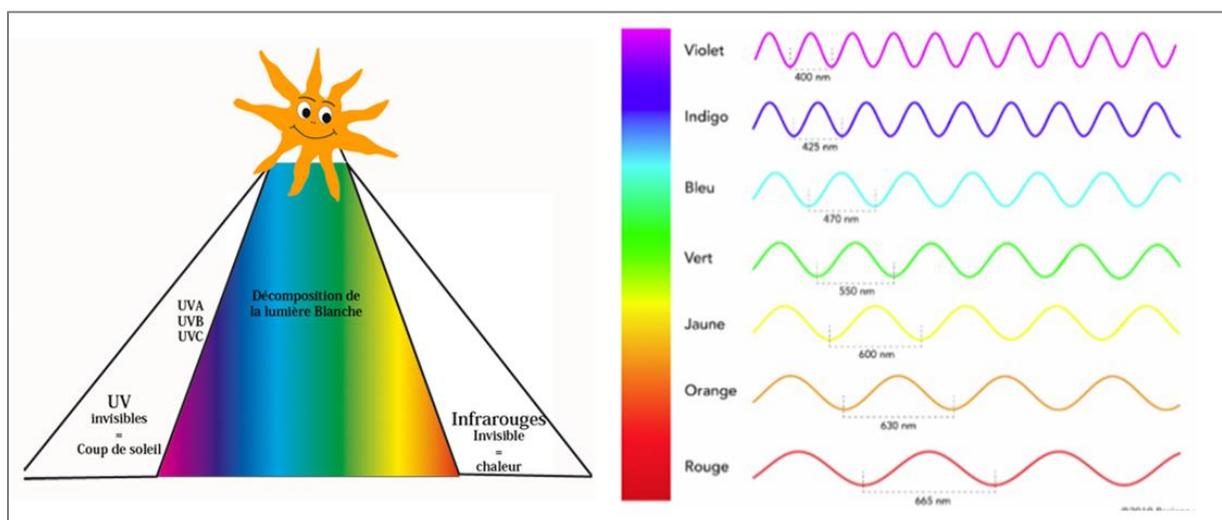
Un prisme en verre décompose la lumière du Soleil dans toutes ses couleurs et crée un **arc-en-ciel** : c'est le **spectre de la lumière visible du Soleil**.

Le Soleil produit aussi des types de **lumière imperceptibles à l'œil**, comme les rayons **ultraviolets et infrarouges**, qui font aussi partie du spectre électromagnétique solaire.

(Source : NASA/ESA/L. Hustak (STScI), Agence spatiale canadienne.)



Source de l'illustration : <https://www.asc-csa.gc.ca/fra/multimedia/recherche/image/17423>



Source des illustrations : <https://www.happyview.fr/images/cms/ultraviolets.jpg> ; <https://lab.cercle-promodul.inef4.org/knowledge/post/lumiere-naturelle-les-grandeurs-physiques-partie-1>

## 2.3. La réflectance solaire

La **réflectance solaire** se définit comme le rapport entre l'énergie solaire réfléchié et l'énergie solaire incidente sur une surface (Energie Solaire Réfléchié / Energie Solaire Incidente (**Figure 4**). Par exemple, une réflectance de 100% signifie que la surface en question réfléchit toute l'énergie solaire dans l'atmosphère et n'en absorbe aucune fraction.

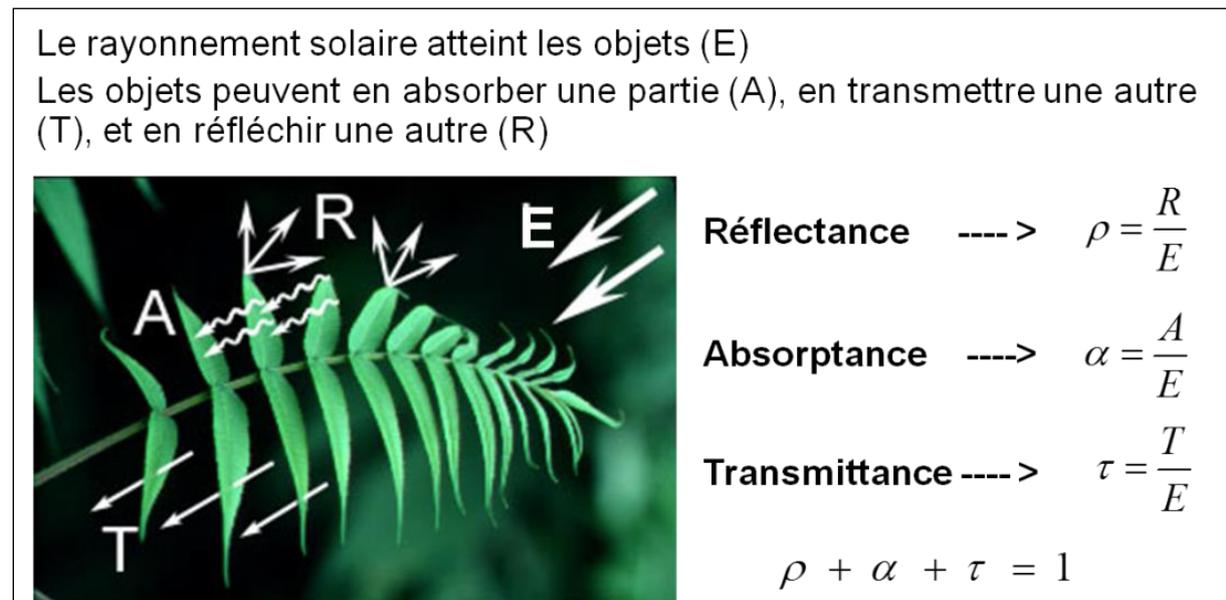


Figure 4 : Principe de la réflectance solaire

## 2.4. La signature spectrale et les capteurs satellites

La **signature spectrale** d'un élément/d'une matière correspond à la représentation graphique de la variation de sa réflectance (axe Y) en fonction des longueurs d'onde du spectre auquel le capteur utilisé est sensible (axe X) (Figure 5). Différents éléments/matières (ex : terre vs végétation) ou des éléments/matières présentant différents états (ex : plus ou moins humide/sec) présenteront en général une signature spectrale différente. La signature spectrale peut donc être utilisée pour identifier/reconnaitre/caractériser différents éléments/matières et/ou leur état.

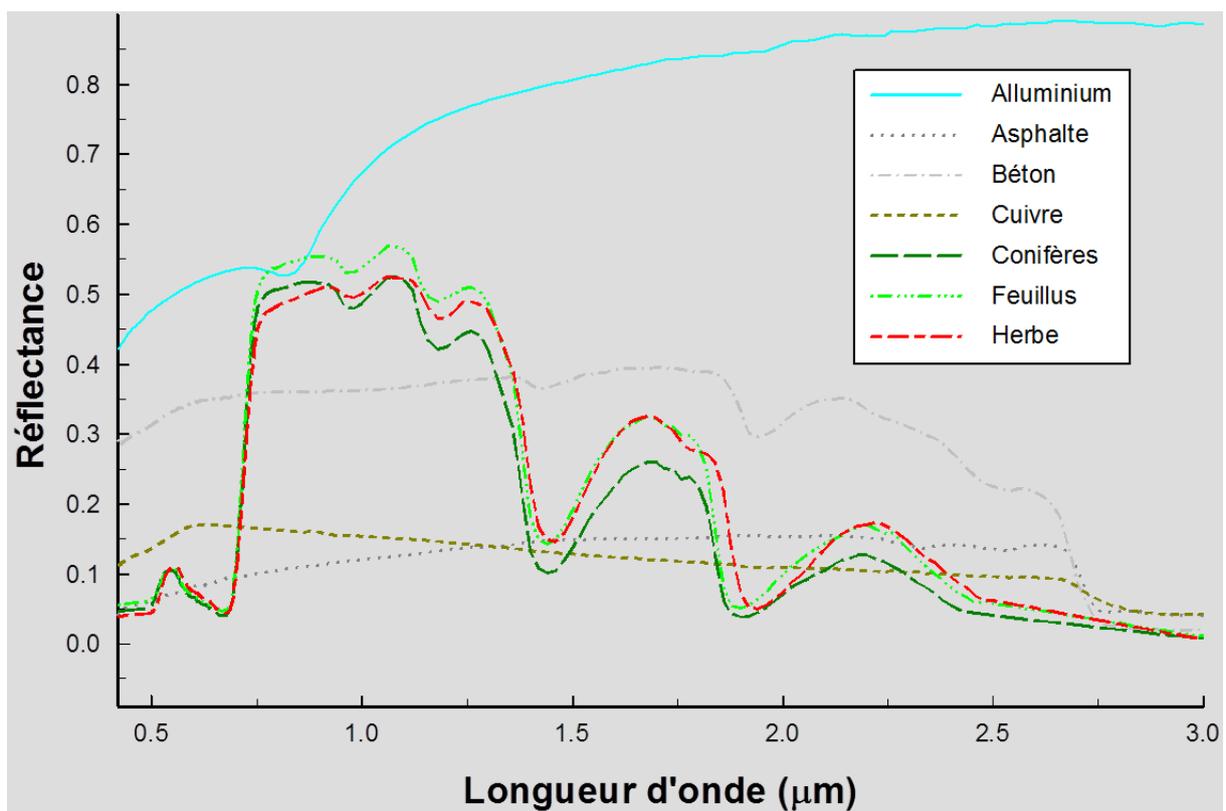
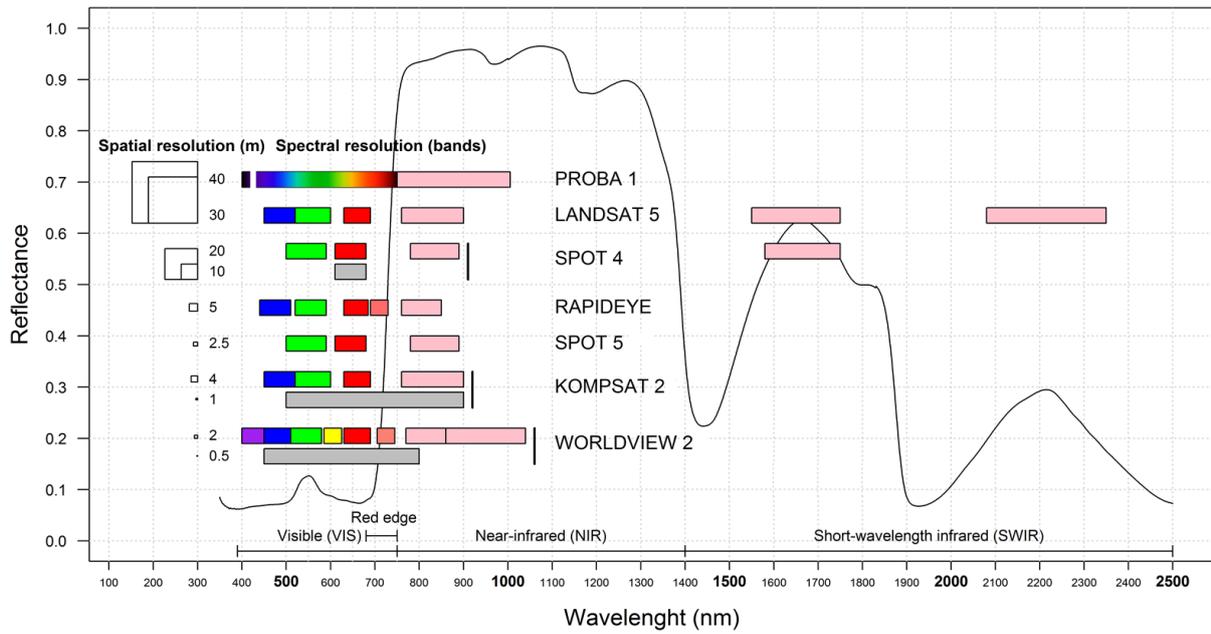


Figure 5 : Signature spectrale de différentes matières/éléments du paysage

Les **capteurs multispectraux** embarqués sur la plupart des satellites d'observation de la terre n'enregistrent pas la signature spectrale de la surface terrestre avec autant de précision que présenté à la Figure 5. Ils enregistrent en général l'énergie réfléchiée par la surface de la terre dans quelques gammes assez larges de longueurs d'ondes tel que présenté pour quelques capteurs satellites bien connus à la Figure 6. La « signature spectrale » dérivée de ce type de capteur ne sera donc composée que de quelques valeurs, une par bande spectrale. Cependant certains capteurs satellites (rares), dit « hyperspectraux », peuvent enregistrer une signature spectrale très précise grâce à un très grand nombre de bandes spectrales étroites, comme pour le capteur CHRIS embarqué sur le satellite PROBA 1 (Figure 6).



**Figure 6 : Signature spectrale typique de la végétation verte et résolutions spectrales et spatiales de différents capteurs satellites multispectraux bien connus et d'un capteur hyperspectral (capteur CHRIS sur le satellite PROBA 1). Les rectangles de couleurs correspondent aux différentes bandes spectrales disponibles dans une image satellite. (Source : adapté de DENIS A, 2018, Can satellites help organic crops certification? <https://orbi.uliege.be/handle/2268/226209>)**

## 2.5. Exemples d'applications de la télédétection

Les exemples d'applications de la télédétection spatiale sont très nombreux :

- La production de **cartes d'occupation du sol** par classification de données multispectrales ou autres
- Le **suivi des conditions de végétation naturelle ou agricole** via l'utilisation de séries temporelles d'indices de végétation (ex : NDVI, FAPAR, etc)
- Le suivi des **catastrophes naturelles** telles que les **inondations, glissements de terrain, tremblements de terre, incendies, déforestation, pollutions marines**, etc
- Le suivi du changement climatique et des effets induits : suivi de la **température de surface** (eau et continent), de la **fonte des glaces**, du **niveau des mers**, etc
- La **mesure du relief** et la **réalisation de cartes topographiques** via stéréoscopie ou télédétection radar
- La **détection des précipitations, des aéronefs et des navires** via télédétection radars
- La **cartographie des fonds marins** via l'utilisation de sonars
- ...

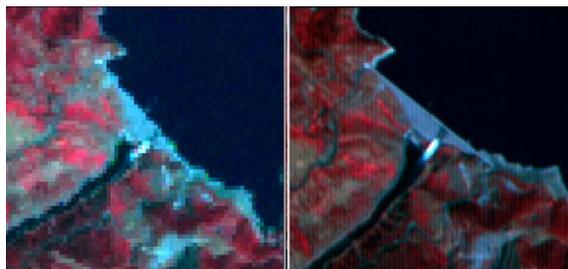


Figure 7 : Quelques exemples d'application de la télédétection spatiale : carte d'occupation du sol, suivi des conditions atmosphériques, réalisation de Modèles Numériques de Terrain (MNT)

## 2.6. Les différents types de résolutions des images satellites

### 2.6.1. Résolution spatiale

- Correspond à la **longueur des côtés des pixels** de l'image
- Habituellement exprimée en mètres (ou en kilomètres pour les images de basse résolution spatiale  $\geq 1\text{km}$ )



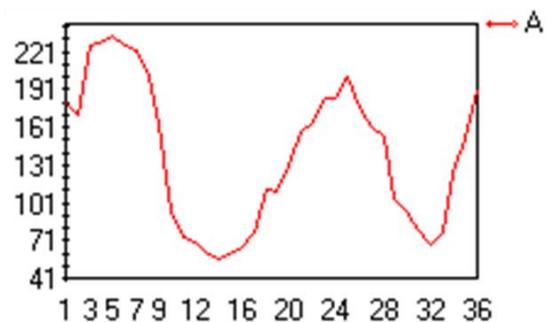
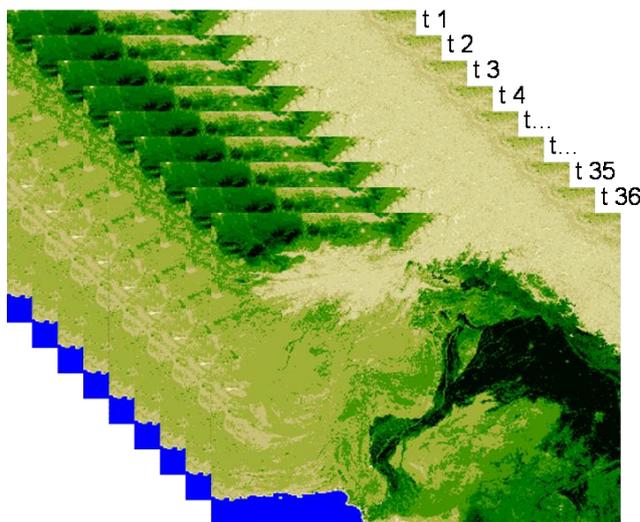
30 mètres (Landsat) 15 mètres (Aster)



10 mètres (SPOT 5) 250 mètres (MODIS)

### 2.6.2. Résolution temporelle (d'une série temporelle d'images ou d'un capteur)

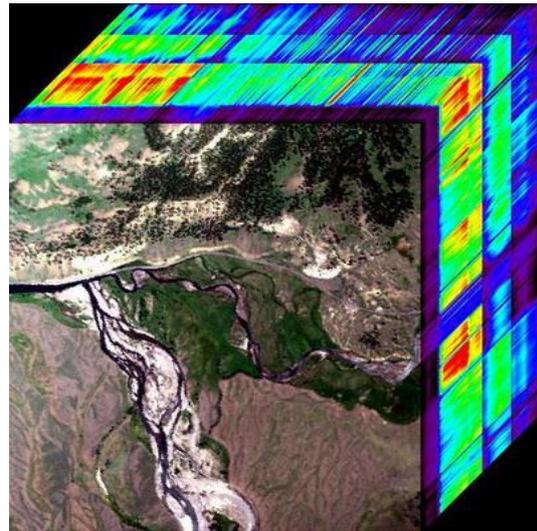
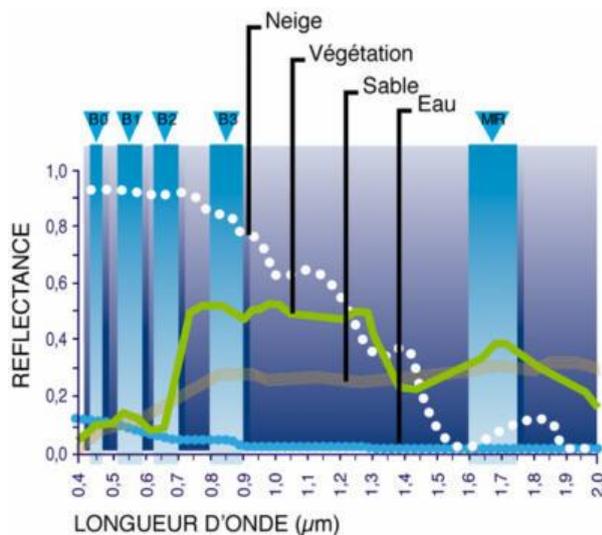
- **Fréquence** à laquelle les images d'une série temporelle sont disponibles/captées pour un endroit donné



Série temporelle de 36 images NDVI décadaires (36 images \* 10 jours = 360 jours = 1 an) issues du capteur SPOT VEGETATION pour le Pakistan (gauche) et évolution temporelle du NDVI en un pixel présentant une alternance marquée de l'état de la végétation selon les saisons (droite). La résolution temporelle de cette série est de « 1 image / 10 jours ».

### 2.6.3. Résolution spectrale

- Aptitude d'un système de détection à distinguer des rayonnements électromagnétiques de fréquences (/de longueurs d'onde) différentes.
- Le **nombre et la largeur (gamme de longueurs d'ondes) des bandes spectrales** d'une image (ou auxquelles un capteur est sensible).
- Plus la résolution spectrale est fine, plus les gammes de longueurs d'ondes des différents canaux du capteur sont étroites.



Résolution spectrale du capteur SPOT 4, composé de **4 bandes de largeurs comprises entre 70 et 170  $\mu\text{m}$**  :

- B1 : 0,50 à 0,59  $\mu\text{m}$  (90  $\mu\text{m}$ )
- B2 : 0,61 à 0,68  $\mu\text{m}$  (70  $\mu\text{m}$ )
- B3 : 0,78 à 0,89  $\mu\text{m}$  (110  $\mu\text{m}$ )
- MIR : 1,58 à 1,75  $\mu\text{m}$  (170  $\mu\text{m}$ )

« **Cube hyperspectrale** », issu d'un capteur hyperspectral (à très haute résolution spectrale). Par exemple : 2150 bandes spectrales de 1 nm de large chacune.

#### 2.6.4. Résolution radiométrique

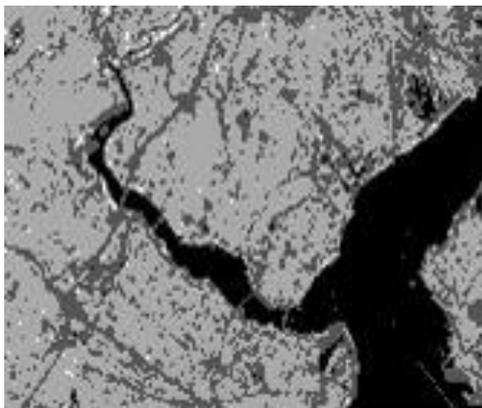
- La résolution radiométrique d'un système de télédétection décrit sa capacité à reconnaître de petites **différences dans l'énergie électromagnétique**. Plus la résolution radiométrique d'un capteur est fine, plus le capteur est sensible à de petites différences dans l'intensité de l'énergie reçue.
- La résolution radiométrique est définie par le **nombre maximum de niveaux d'intensité d'énergie électromagnétique que le capteur peut enregistrer** et dépend du **nombre de bits** utilisés pour représenter l'intensité enregistrée, par exemple :
  - Si **8 bits** sont utilisés,  $2^8$  soit 256 valeurs numériques allant de 0 à 255 sont disponibles
  - Si **4 bits** sont utilisés,  $2^4$  soit 16 valeurs numériques allant de 0 à 15 sont disponibles



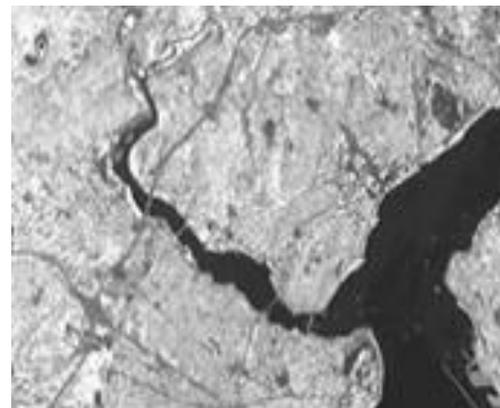
4 bits



8 bits



2 bits

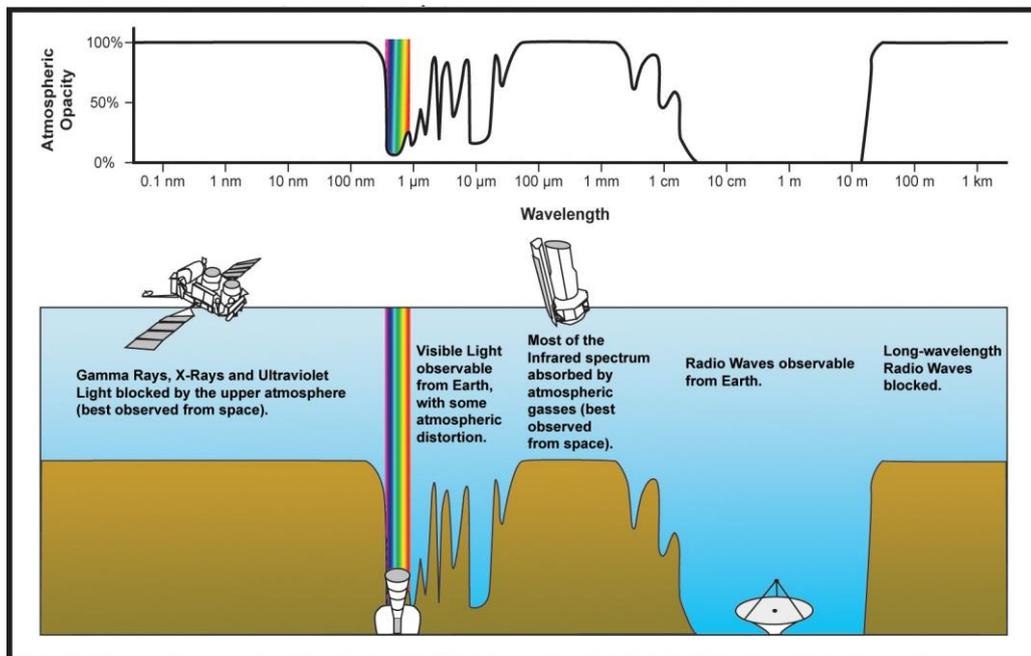
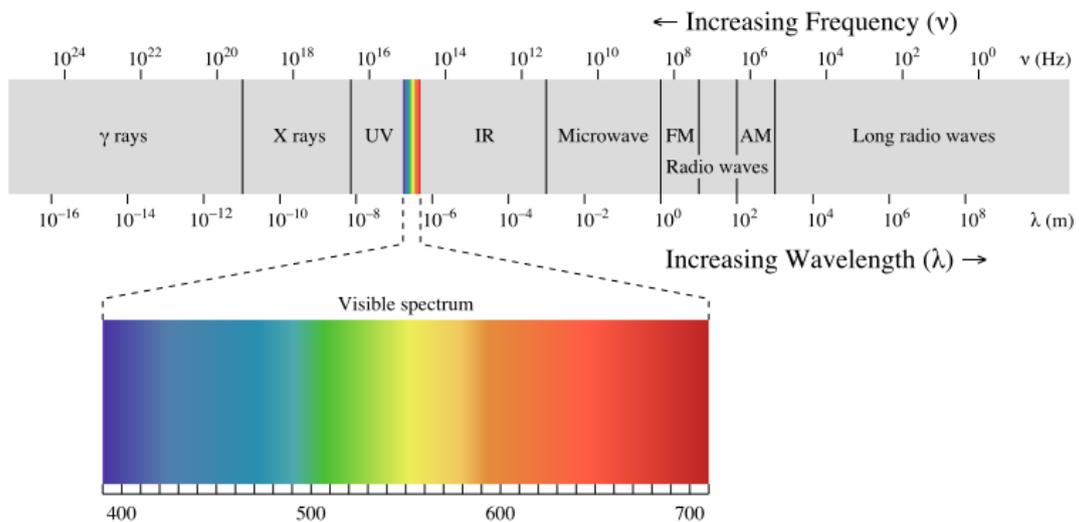


8 bits

#### Sources d'inspiration de la section 2.6 :

- Centre canadien de télédétection : [http://cct.rncan.gc.ca/index\\_f.php](http://cct.rncan.gc.ca/index_f.php)
- International Training in Yield forecasting, Introduction to remote sensing for agriculture applications, Pr. Pierre Defourny (UCL - Geomatics)

## 2.7. Longueurs d'ondes et fréquences du spectre électromagnétique



(Source: [http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_spectrum](http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum))

Les couleurs du spectre de la lumière visible		
Couleurs	Intervalles de longueur d'ondes	Intervalles de fréquence
Rouge	~ 630–700 nm	~ 480–430 THz
Orange	~ 590–630 nm	~ 510–480 THz
Jaune	~ 560–590 nm	~ 540–510 THz
Vert	~ 490–560 nm	~ 610–540 THz
Bleu	~ 450–490 nm	~ 670–610 THz
Violet	~ 400–450 nm	~ 750–670 THz

### 3. Découverte de « Google Earth Pro »

<b>Objectifs pédagogiques</b>	Découverte de Google Earth Pro et de ses principales fonctionnalités.
<b>Données</b>	Aucune donnée spécifique n'est nécessaire pour la réalisation de cet exercice.
<b>Logiciel ou application</b>	« Google Earth Pro sur ordinateur » <a href="https://www.google.com/intl/fr/earth/versions/">https://www.google.com/intl/fr/earth/versions/</a> .
<b>Temps approximatif</b>	~ 30 minutes.
<b>Prérequis</b>	Aucun.
<b>Consignes de départ</b>	A l'aide des indications ci-dessous : <ul style="list-style-type: none"><li>• Installez « Google Earth Pro » sur votre ordinateur et</li><li>• Explorez les quelques fonctionnalités de « Google Earth Pro » présentées.</li></ul>

« **Google Earth Pro** » est probablement la plus belle application de la télédétection spatiale réalisée à ce jour. C'est une représentation de la planète terre en 3D, interactive et disponible en ligne, construites à partir d'un très grand nombre (milliers/millions ?) d'images satellites issues de différents capteurs, de différentes résolutions spatiales et enregistrées à différents moments. Il ne s'agit donc pas (encore) d'une visualisation en directe de la terre ! Google Earth Pro intègre une série de fonctionnalités et de très nombreuses données supplémentaires (limites administratives, photos, lieux, météo, relief, bâtiments 3D, etc) (Figure 8 et Figure 9).

Une présentation de Google Earth est disponible ici :

- [https://www.google.com/intl/fr\\_ALL/earth/](https://www.google.com/intl/fr_ALL/earth/)



Google Earth

## Installation de Google Earth Pro sur votre ordinateur

- Connectez-vous à internet.
- Téléchargez Google Earth Pro à l'adresse [http://www.google.fr/intl/fr\\_ALL/earth/versions/](http://www.google.fr/intl/fr_ALL/earth/versions/) (en bas de page : « Télécharger Google Earth Pro sur ordinateur »)
- Installez Google Earth Pro en exécutant le fichier téléchargé
- Démarrez Google Earth Pro (une connexion internet est nécessaire).

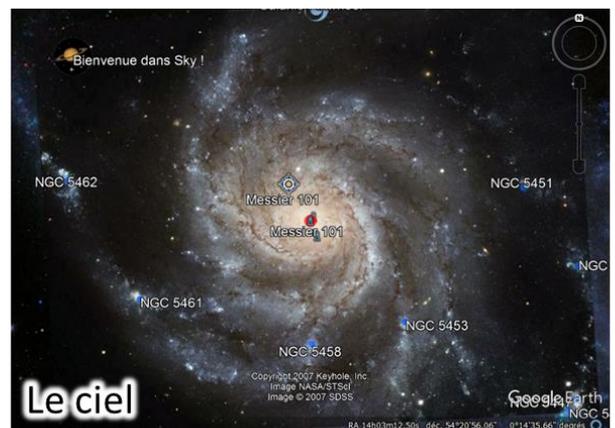
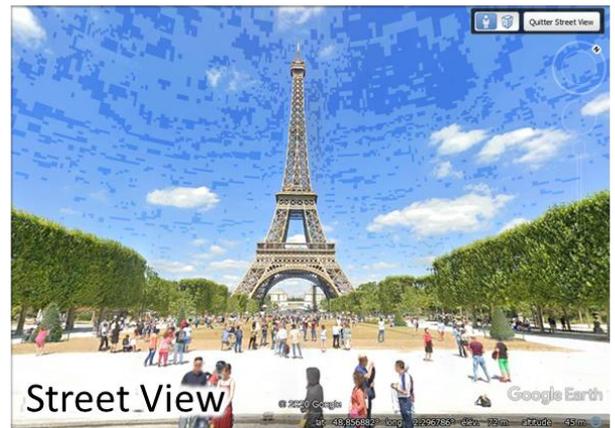
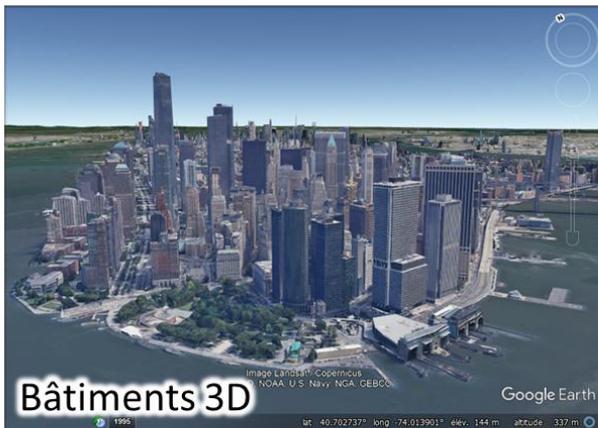
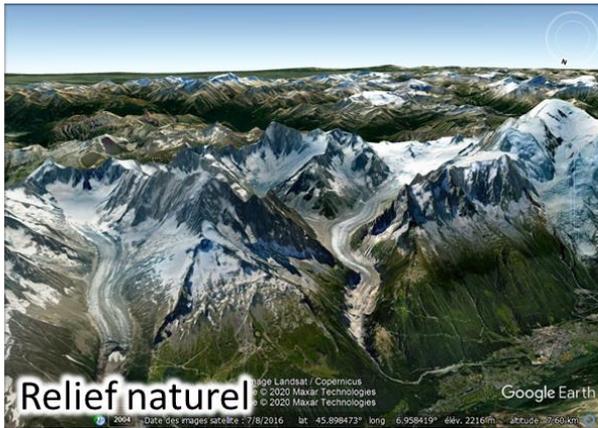


Figure 8 : Aperçu de quelques fonctionnalités de Google Earth Pro



Figure 9 : Aperçu de la fonctionnalité « Images d'archive » de Google Earth Pro pour la Mer d'Aral

## Exploration de Google Earth Pro

- Via les outils de navigation, soit la roulette de la souris et les boutons du coin supérieur droit de l'interface, localisez un endroit qui vous est familier (par exemple, pour les étudiants d'Arlon, le Campus d'Arlon).
- Cochez l'option « Relief » dans le panneau « Calques » et déplacez-vous dans les Alpes, l'Himalaya ou une chaîne de montagne de votre choix. Constatez la **modélisation 3D du relief naturel** en zoomant sur l'une ou l'autre zone et inclinez ensuite votre fenêtre de visualisation dans le plan horizontal via la flèche supérieure



du bouton disponible dans le coin supérieur droit de l'interface, ce qui permet un déplacement oblique ou horizontal. Remarquez que le relief peut être exagéré (jusque \*3) via le menu « Outils > Options... > Vue 3D > Relief > Facteur d'élévation > et indiquer le chiffre par lequel multiplier artificiellement le relief ».

- Dézoomez et positionnez-vous au-dessus de quelques montagnes. Via l'activation du bouton « **Lumière du soleil en fonction de l'heure du jour** »  dans la partie supérieure de l'interface et l'utilisation de la ligne du temps qui apparaît, constatez l'effet de la position du soleil sur la réflectance des images, effet particulièrement visible en zone montagneuse (cet effet d'ombrage est modélisé).
- Tapez ensuite « **Manhattan, New-York** » dans l'onglet « **Recherche** ». Vous devriez arriver à « Central Park ». Déplacez-vous ensuite vers la pointe sud de Manhattan et cochez l'option « **Bâtiments 3D** » dans le panneau « **Calques** ». Inclinez à nouveau la fenêtre de visualisation dans le plan horizontal et visitez Manhattan en 3D. Déplacez-vous ensuite vers la « Statue of Liberty ». (Remarque : tout aussi impressionnant, le campus d'Arlon au Sud de la Belgique est également modélisé en bâtiment 3D).
- Déplacez-vous ensuite vers Paris et explorez « l'Avenue des Champs Elysées » et « l'Arc de triomphe » et/ou la « Tour Eiffel » à l'aide de l'outil « **Street view** »  disponible à droite de l'interface : zoomez d'abord fortement sur l'endroit désiré puis placez le bonhomme orange à l'endroit à explorer en mode « Street view ».
- La couverture nuageuse (mise à jour toutes les 60 à 90minutes) peut être affichée via le panneau « **Calques > Météo > Nuages** ».
- Visualisez les changements d'occupation du sol s'étant produit à un endroit de votre choix, par exemple pour la « Mer d'Aral » (à taper dans l'onglet de Recherche), via l'activation du bouton « **Afficher des images d'archive...** »  et l'utilisation de la ligne du temps qui apparaît (Figure 9). Remarquez que le nombre et le type d'images d'archives visualisables pour une zone varient en fonction du niveau de zoom : zoom éloigné : une image annuelle ; zoom rapproché : d'autres images souvent de meilleure résolution spatiale. Remarque : vous pourriez également visualiser avec cet outil d'autres **exemples bien connus d'évolution impressionnante de l'occupation du sol**, tels que ceux qui sont disponibles dans le panneau latéral de gauche de l'application « Google EarthEngine Timelapse » qui sera présentée à la section « 6.3 Google EarthEngine Timelapse » page 100.
- Une **vision nocturne des lumières de la terre** n'est plus disponible dans l'application Google Earth à installer sur votre ordinateur, mais elle est disponible dans la version en ligne de Google Earth à l'adresse suivante : <https://earth.google.com/web/@27.4460086,-84.80131294,9.97674638a,8922808.83754477d,35y,0h,0t,0r/data=CisSKRIgMGY3ZTJkYzdIOGExMTFINjk5MGQ2ZjgxOGQ2OWE2ZTciBWVhcnRo>

Google Earth permet également d'explorer **l'espace, la Lune et Mars** via le bouton .

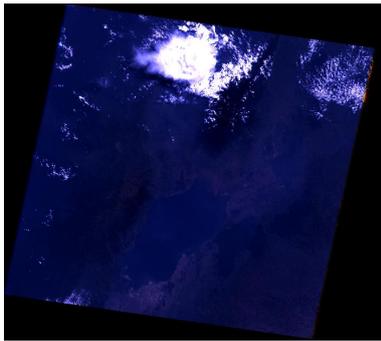
Rem : **Attention !** Il est possible de **recupérer les images de Google Earth** :

- Via une « capture d'écran » (« print screen » en anglais) ou
- Via le menu de Google Earth « **Fichier > Enregistrer > Enregistrer l'image...** ».

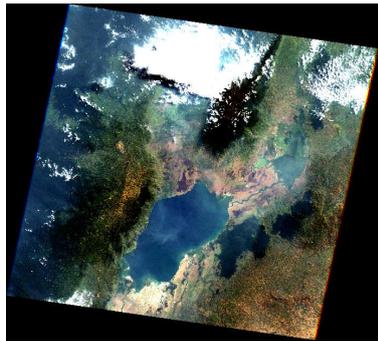
Notez qu'il s'agira cependant d'une image « dégradée » correspondant au zoom et à l'étendue au moment de la capture, le plus souvent au format « jpg », et non de l'image satellite originale utilisée pour réaliser cette représentation

## 4. Ouverture et visualisation d'une image satellite dans QGIS

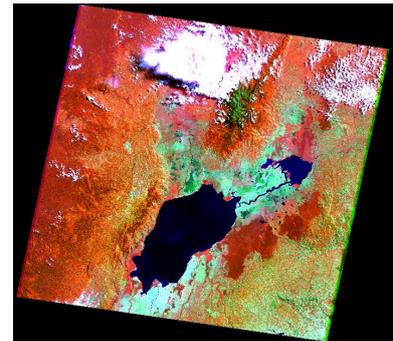
<b>Objectifs pédagogiques</b>	<p>Les objectifs de cette section sont de vous présenter:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Quelques outils pour <b>visualiser correctement une image satellite</b> dans QGIS (symbologie, amélioration de contraste, etc)</li><li>• Les <b>caractéristiques techniques principales</b> d'une image satellite (résolution spatiale, résolution spectrale, etc)</li><li>• Les notions de « <b>composition vraies couleurs</b> » et « <b>composition fausses couleurs</b> »</li><li>• Quelques <b>outils simples pour interroger les images</b> (valeurs de pixels, localisation, mesures)</li></ul>
<b>Données &amp; Projet QGIS!</b>	<p>Les données nécessaires à la réalisation de cet exercice sont disponibles dans le dossier « ...\<b>1_VISUALISATION</b>\... » (~ 462 MB) et correspondent essentiellement à une image satellite Landsat-5 composée de 7 bandes spectrales indépendantes.</p> <p>Téléchargez ce dossier sur votre ordinateur en local dans votre répertoire de travail et décompressez-le. ATTENTION ! Voyez la section 1.2 page 19 pour plus d'information sur l'accès aux données.</p> <p><b>Projet QGIS</b> : « <b>VISUALISATION.qgz</b> » situé dans ce même dossier.</p>
<b>Logiciel ou application</b>	<b>QGIS 3.10 ou supérieur</b> ( <a href="https://www.qgis.org/fr/site/forusers/download.html">https://www.qgis.org/fr/site/forusers/download.html</a> ).
<b>Temps approximatif</b>	~ 45 minutes
<b>Prérequis</b>	Il est préférable, mais non obligatoire, que l'utilisateur ait déjà quelques notions de base concernant la gestion d'un projet QGIS.



Vraies couleurs RGB = B3-B2-B1  
SANS amélioration de contraste



Vraies couleurs RGB = B3-B2-B1  
AVEC amélioration de contraste



Fausses couleurs RGB = B4-B7-B3  
AVEC amélioration de contraste

**Figure 10 : Image Landsat-5 TM utilisée dans le cadre de cet exercice avec différents effets de visualisation : amélioration de contraste et compositions colorées.**

## 4.1. Présentation de l'image satellite utilisée

L'image satellite utilisée pour cet exercice est une image gratuite de type Landsat-5 TM (capteur « Thematic Mapper ») acquise le 7 août 1987 sur la région de la ville de Kasese en Ouganda, région entourée de nombreuses zones naturelles protégées (Figure 10 et Figure 11). Elle est composée de 7 bandes spectrales à 30 mètres de résolution spatiale (résolution spatiale = longueur des côtés des pixels de l'image) (Figure 12).

Plus d'information sur cette image et la manière de la rechercher et télécharger sur le net sont données à la section « 8.5.2.3 Recherche et téléchargement de l'image Landsat-5 via le site web « EarthExplorer » page 165. Ces informations ne sont cependant pas utiles pour cet exercice-ci.

Les caractéristiques techniques les plus importantes de cette image, dont la résolution spatiale et la résolution spectrale, sont reprises dans les Figure 12 et Figure 11 ci-dessous.

Les notions de résolution spatiale, résolution spectrale, résolution radiométrique et résolution temporelle sont bien expliquées et illustrées à la section « 2.6 Les différents types de résolutions des images satellites » page 29 de ces notes.

Nom du fichier téléchargé	LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1
Nom du satellite	LANDSAT 5 TM
Lieu dans le système LANDSAT (Path, Row)	WRS_PATH = 173 (correspond à la ligne/chemin orbital.e) WRS_ROW = 60 (varie selon la latitude)
Système de coordonnées	EPSG 32635
Etendue spatiale approximative d'une image/tile	170 km north-south by 183 km east-west
Date d'acquisition	07 08 1987
Résolution spatiale	30 m
Nombre de bandes spectrales	7
Couverture nuageuse	Partielle
Format original des images lors du téléchargement	.tif
Poids numérique du dossier compressé/décompressé contenant une image	138 Mo / 460 Mo
Site web de référence pour le téléchargement	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
Page web reprenant les caractéristiques techniques des images	<a href="https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con">https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con</a>

**Figure 11 : Caractéristiques principales de l'image Landsat-5 Thematic Mapper™ utilisée dans le cadre de cet exercice.**

Numéro de la bande	Longueur d'onde (µm)	Nom de la bande	Résolution spatiale (m)
Band 1	0.45-0.52	Blue	30
Band 2	0.52-0.60	Green	30
Band 3	0.63-0.69	Red	30
Band 4	0.76-0.90	Near Infrared (NIR)	30
Band 5	1.55-1.75	Shortwave Infrared (SWIR) 1	30
Band 6	10.40-12.50	Thermal	120 (30)*
Band 7	2.08-2.35	Shortwave Infrared (SWIR) 2	30

**Figure 12 : Description des 7 bandes spectrales des images Landsat-5 Thematic Mapper™.** (Source : [https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products))

\* TM Band 6 was acquired at 120-meter spatial resolution, but products are resampled to 30-meter pixels.

## 4.2. Visualisation des fichiers correspondant à l'image satellite dans l'explorateur de l'ordinateur

Via l'explorateur de votre ordinateur (explorateur Windows ou autre) l'image satellite Landsat-5 se présente dans le dossier « ...\\1\_VISUALISATION\... » comme illustré à la Figure 13 :

- Les 7 bandes spectrales (Figure 12) correspondent à des fichiers images indépendants et se terminent par « B1 » à « B7 ».
- Le fichier « BQA.tif » est également un fichier image mais contient une information sur la qualité des pixels (« Quality Assessment Band ») (pour plus d'info : [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-collection-1-level-1-quality-assessment-band?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-collection-1-level-1-quality-assessment-band?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con))
- Le fichier « .jpg » (JPEG) est un fichier image léger qui permet d'avoir un aperçu rapide de l'image (dont la couverture nuageuse)
- Une série de fichiers de type texte (à ouvrir avec un éditeur de texte come « Notepad/Bloc-notes ») qui contiennent des métadonnées.

Name	Type	Size
 LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_ANG.txt	TXT File	34 KB
 LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_B1.TIF	TIF File	52 375 KB
 LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_B2.TIF	TIF File	52 375 KB
 LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_B3.TIF	TIF File	52 375 KB
 LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_B4.TIF	TIF File	52 375 KB
 LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_B5.TIF	TIF File	52 375 KB
 LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_B6.TIF	TIF File	52 375 KB
 LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_B7.TIF	TIF File	52 375 KB
 LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_BQA.TIF	TIF File	104 694 KB
 LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_GCP.txt	TXT File	7 KB
 LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_MTL.txt	TXT File	8 KB
 LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_VER.jpg	JPEG image	279 KB
 LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_VER.txt	TXT File	58 KB
 README.GTF	GTF File	9 KB

Figure 13 : Visualisation des fichiers correspondant à l'image satellite Landsat-5 dans l'explorateur de l'ordinateur (explorateur Windows dans ce cas-ci).

### 4.3. Ouverture du projet QGIS à utiliser

- Ouvrez le projet QGIS préalablement créé pour vous et disponible dans le répertoire « ...\\1\_VISUALISATION\\VISUALISATION.qgz » en double-cliquant dessus

Ce projet QGIS est presque vide mais contient une couche shapefile des pays du monde qui vous permettra de facilement vous localiser.

Vous pouvez éventuellement ajouter une couche de fond (« base map ») qui correspond par exemple aux images satellites « Google Satellite » via l'utilisation de l'extension QGIS « QuickMapServices » (à installer et paramétrer correctement si ce n'est pas encore fait comme indiqué dans le manuel de TP QGIS disponible ici <https://orbi.uliege.be/handle/2268/190559>). Cette couche de fond en très haute résolution spatiale peut parfois être utile pour mieux comprendre le paysage de la zone étudiée.

### 4.4. Définition du SCR du projet QGIS

L'image Landsat-5 étant fournie dans le système de coordonnées « EPSG : 32635 - WGS84 UTM Zone 35N - projeté », il est préférable, pour le bon fonctionnement de certains outils QGIS, que le projet QGIS soit lui aussi exprimé dans le même système de coordonnées.

- Cliquez sur le menu « Projet > Propriétés... > SCR > et tapez « 32635 » dans le filtre de recherche de SCR afin de trouver plus facilement ce SCR > Sélectionnez-le > Cliquez sur OK

### 4.5. Ajout des bandes spectrales individuelles d'une image satellite dans un projet QGIS et visualisation des bandes en « dégradé de gris »

A l'aide des indications ci-dessous, ajoutez les 7 bandes spectrales individuelles de l'image satellite Landsat-5 TM dans votre projet QGIS et visualisez chacune des bandes en « dégradé de gris »

Les images satellites sont des données de type raster et doivent donc s'ouvrir

- Via le bouton « Gestionnaire des sources Open Data »  > Raster > Naviguer vers le répertoire « 1\_VISUALISATION\\DATA\\LT05\_L1TP\_173060\_19870807\_20170211\_01\_T1\ » > Sélectionner les bandes B1 à B7.tif > Open > Ajouter > Fermer

- Pour plus de facilité de manipulation, placez ces bandes dans le groupe de couche «LANDSAT BRUT » du projet QGIS préexistant, par simple glissé-déposé dans le panneau « Couches » de QGIS

Chacune des 7 bandes est visible en « **dégradé de gris** » (en anglais : « **gray scale** »).

Les 7 bandes étant reprises comme 7 couches indépendantes, il n'est pas possible de réaliser directement une « **composition colorée** » multi-bandes (une image couleur RGB). Pour pallier à ce problème, il est possible de « fusionner » les 7 bandes en un seul fichier unique multi-bandes (confer section 4.7 page 46 ci-dessous).

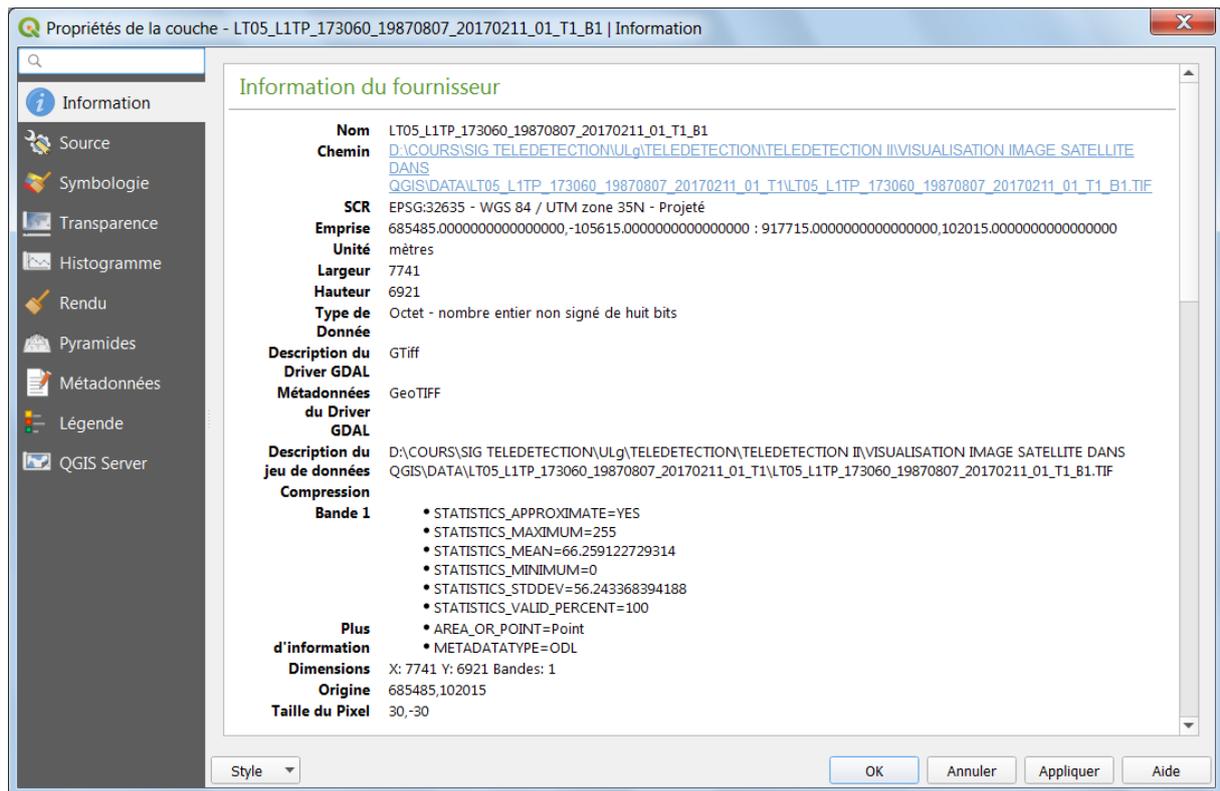
## 4.6. Accès aux propriétés des bandes spectrales d'une image satellite

A l'aide des indications ci-dessous, accédez aux propriétés des bandes spectrales de l'image Landsat-5 TM et identifiez ses caractéristiques techniques les plus importantes, à savoir le SCR dans lequel elle est exprimée, sa résolution spatiale, son format.

Les propriétés de chaque couche d'information ajoutée dans QGIS sont disponibles via :

- **Clic-droit sur la couche > Propriétés... > Information** (Figure 14)
- (Clic-droit sur la couche > Propriétés... > Métadonnées : cette rubrique est souvent vide)

Ces informations renseignent notamment sur le SCR dans lequel est exprimée la couche d'information, le nombre de pixels constituant l'image en ligne (hauteur) et colonne (largeur), le format de l'image (GeoTIFF dans ce cas-ci), quelques statistiques sur les bandes spectrales, la taille du pixel, etc.



**Figure 14 : Accès aux propriétés d'une couche raster (bande 1 d'une image Landsat-5 TM ici) dans QGIS**

Ces informations et bien d'autres sont également reprises dans les fichiers de type texte (avec l'extension « .txt ») qui accompagnent l'image au moment du téléchargement depuis le site web source. Ces fichiers textes, que vous pouvez ouvrir par curiosité avec le logiciel « bloc note », sont les fichiers (dans le répertoire « ... \1\_VISUALISATION\DATA\LT05\_L1TP\_173060\_19870807\_20170211\_01\_T1\ ») :

- LT05\_L1TP\_173060\_19870807\_20170211\_01\_T1\_MTL.txt (contient les métadonnées les plus intéressantes)
- README.GTF
- LT05\_L1TP\_173060\_19870807\_20170211\_01\_T1\_ANG.txt

## 4.7. Fusion de bandes spectrales individuelles d'une image satellite en un seul fichier unique multi-bandes

A l'aide des indications ci-dessous, fusionnez les 7 bandes individuelles de l'image Landsat-5 TM en un seul fichier unique multi-bandes.

Afin de faciliter la manipulation et la visualisation de l'image satellite via notamment la réalisation de compositions colorées multi-bandes (compositions RGB), une possibilité est de fusionner les différentes bandes spectrales en une seule image multi-bandes.

Pour **fusionner les différentes bandes spectrales en une seule image multi-bandes** (Figure 9) :

- Utilisez la fonction QGIS disponible dans le menu « Raster > Divers > Fusionner... » et paramétrez-la comme indiqué ci-dessous.
- Couches en entrée : sélectionner les 7 bandes **B1 à B7** de l'image Landsat-5 à fusionner
- **Cocher l'option « Placer chaque fichier en entrée dans une bande séparée »**, ce qui permettra d'obtenir un raster multi-bandes. Sinon le raster résultant ne contient qu'une seule bande.
- Fusionné : indiquer le répertoire de sortie et nommer le raster en sortie, par exemple « LT05\_L1TP\_173060\_19870807\_20170211\_01\_T1\_FUSION\_B1\_B7.TIF »
- Cliquer sur « Exécuter »
- Après exécution de la fonction (quelques secondes sont nécessaires) et vérification de l'absence de message d'erreur dans le journal de la fonction « Fusionner », fermer la fenêtre de cette fonction.
- Ajouter le raster fusionné produit manuellement dans votre projet QGIS via le bouton d'ajout de raster. Pour plus de facilité de manipulation, placez-le dans le groupe de couche du panneau « Couches » «LANDSAT FUSION »

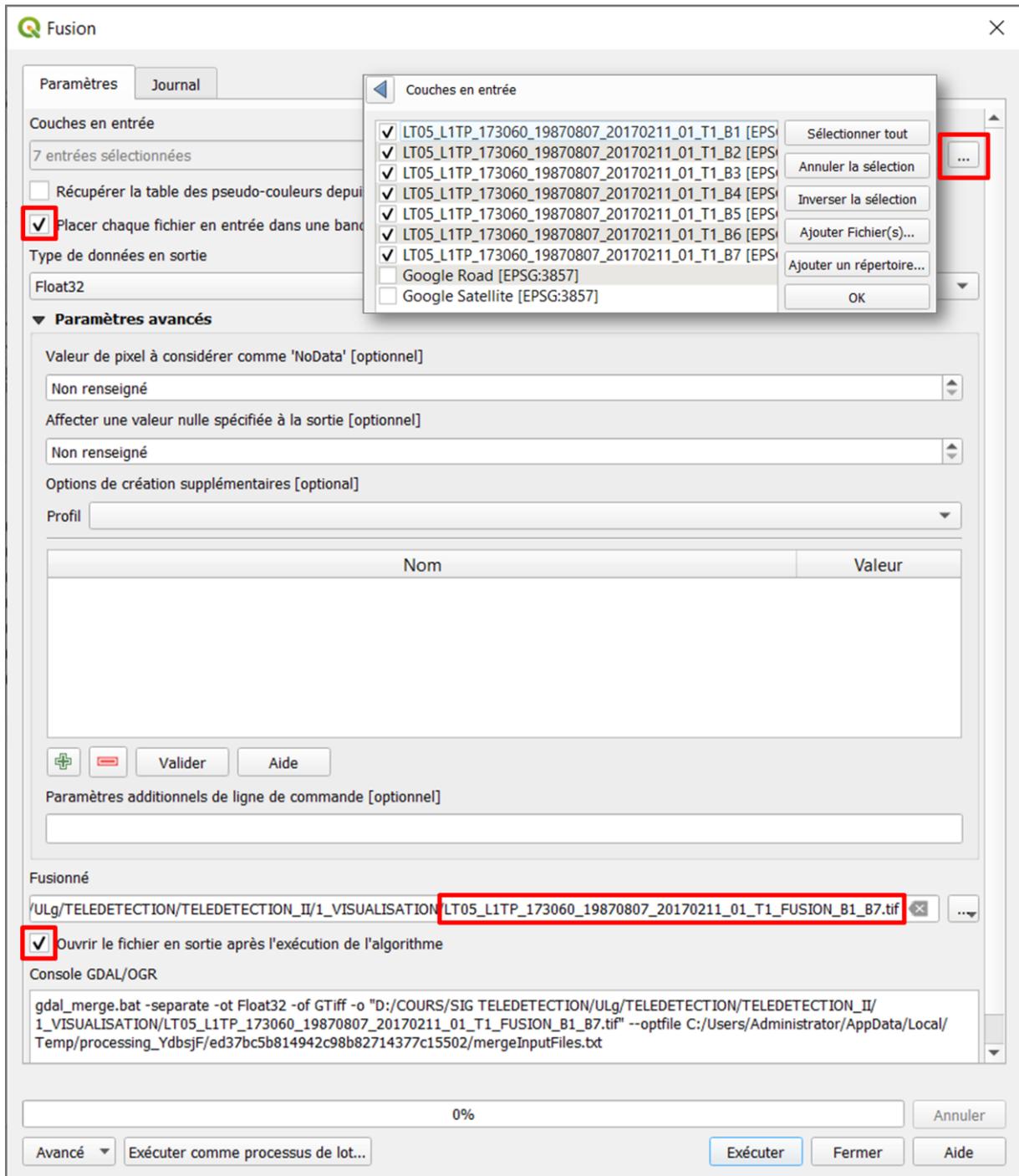


Figure 15 : Fusion des 7 bandes spectrales d'une image Landsat-5 TM pour produire un raster multi-bandes, dans QGIS via la fonction « Fusion »

## 4.8. Visualisation de compositions colorées d'une image satellite

A l'aide des indications ci-dessous, réalisez une **composition vraies couleurs** et 2-3 **compositions fausses couleurs** de qualité de l'image satellite Landsat-5 TM. Prenez ensuite quelques secondes pour photo-interpréter l'image satellite, c'est-à-dire reconnaître les différentes classes d'occupation du sol (+ nuages) présentes sur cette image.

### 4.8.1. Composition « vraies couleurs » et composition « fausses couleurs »

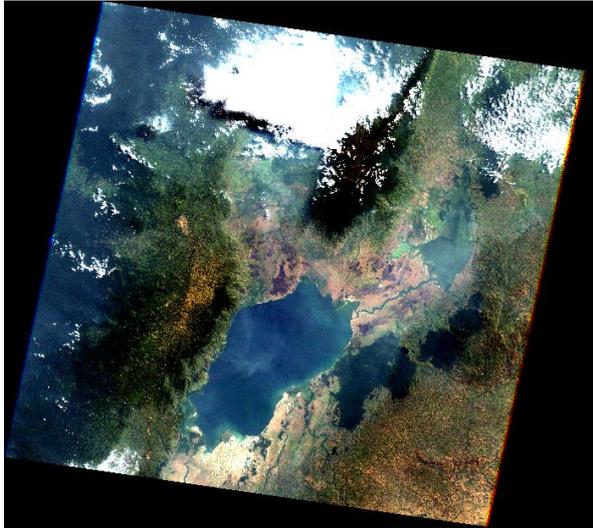
2 types de visualisation des images satellites multispectrales sont à distinguer, à savoir les « compositions vraies couleurs » et les « compositions fausses couleurs » (Figure 16).

**Une composition « vraies couleurs » :**

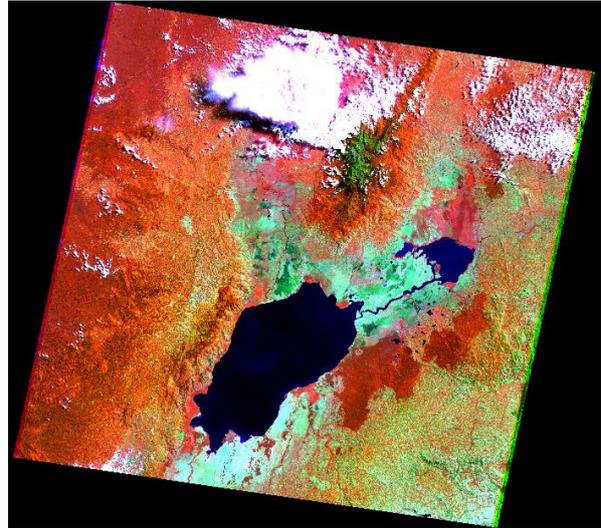
- Est une représentation de l'image en « **couleurs naturelles** »
- Ne peut être réalisée que si l'image satellite possède les bandes spectrales du Rouge, Vert et Bleu. Aux 3 canaux RGB (Red, Green, Blue) de l'ordinateur sont associées les bandes spectrales de l'image satellite correspondant aux longueurs d'onde du rouge, vert et bleu.

**Une composition « fausses couleurs » :**

- Correspond à toutes les représentations colorées de l'image qui ne sont pas en « couleurs naturelles »
- Peut être réalisée dans tous les cas
- Présentent l'avantage de permettre la visualisation de données n'appartenant pas au spectre du visible, par exemple, l'InfraRouge (IR), des données de type radar, etc. Autrement dit, ces compositions fausses couleurs « transforment » une donnée non visible, mais enregistrée par un capteur sensible à ces longueurs d'ondes, en une donnée visible à l'écran. Cette technique rend donc visible l'invisible pour des yeux humains.



Vraies couleurs RGB = B3-B2-B1



Fausses couleurs RGB = B4-B7-B3

**Figure 16 : Image Landsat-5 TM en composition « vraies couleurs » (à gauche) et en composition « fausses couleurs » (un exemple parmi les nombreuses possibles) (à droite), toutes deux avec amélioration de contraste.**

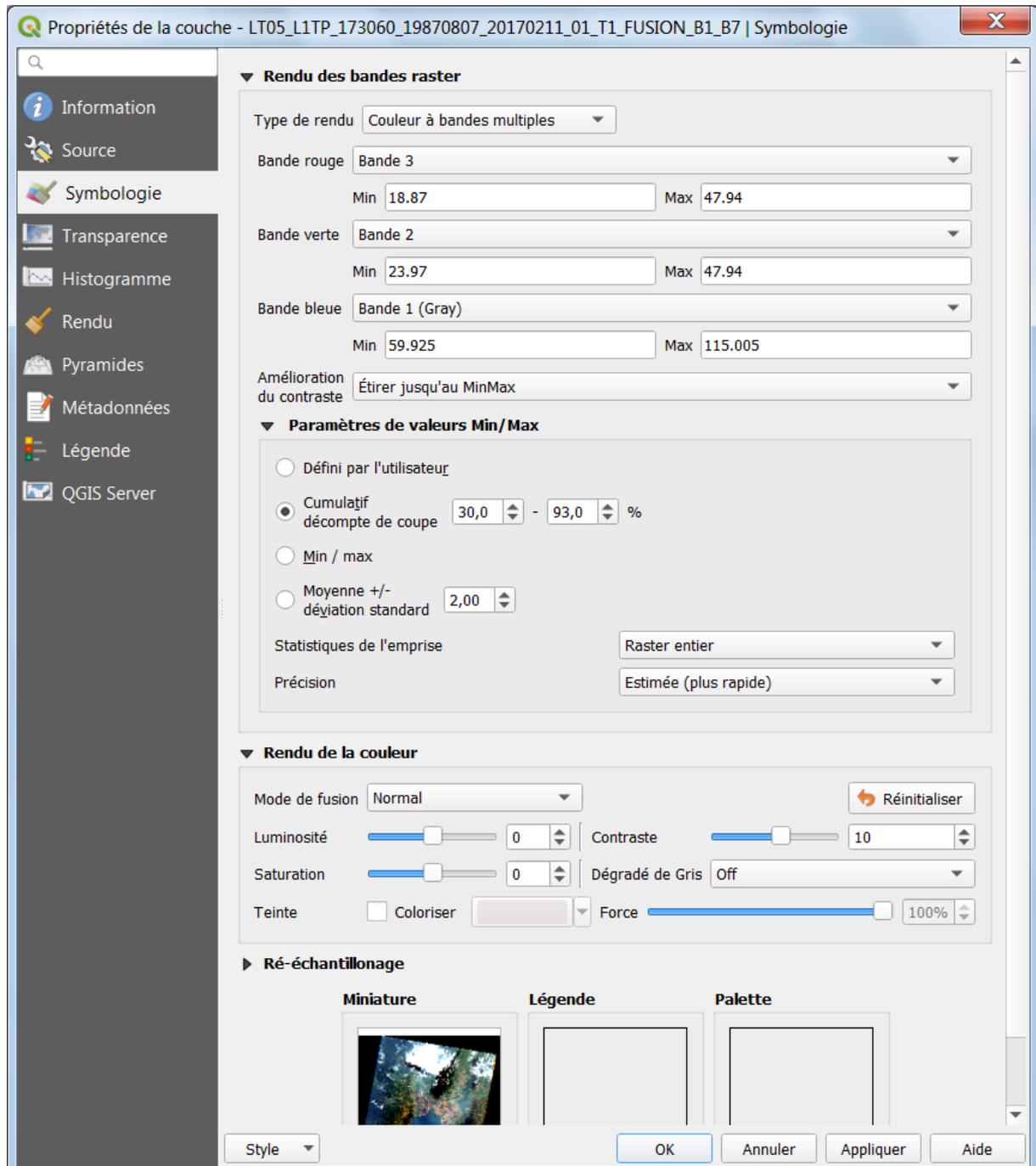
**Pour afficher une « composition vraies couleurs » d'une image satellite dans QGIS (Figure 17):**

- Cliquez-droit sur l'image satellite multi-bandes fusionnée (la fusion de l'image a été faite à la section 4.7 page 46) > Propriétés... > Symbologie
- Dans le menu « Rendu des bandes raster » choisissez
  - « **Type de rendu** » = « Couleur à bandes multiples »
  - « **Bande rouge** » = Bande 3 de l'image Landsat-5 TM qui correspond donc à la longueur d'onde du rouge
  - « **Bande verte** » = Bande 2 de l'image Landsat-5 TM qui correspond donc à la longueur d'onde du vert
  - « **Bande bleue** » = Bande 1 de l'image Landsat-5 TM qui correspond donc à la longueur d'onde du bleu

#### **ATTENTION !**

- L'ordre des bandes RGB=3-2-1 correspond à une composition colorée vraies couleurs dans ce cas-ci uniquement parce que les bandes spectrales numéro 3-2-1 des images Landsat-5 TM correspondent aux longueurs d'onde rouge-vert-bleu respectivement.
- **Si un autre capteur est utilisé**, il faut se renseigner sur la correspondance entre numéro de bandes et longueurs d'onde et adapter les 3 bandes à affecter aux 3 canaux RGB pour une composition vraies couleurs. Par exemple, pour les images de type Landsat-8, une composition vraies couleurs sera obtenue via la composition RGB = 4-3-2 (confer ici [https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products))

- Si un capteur ne possède pas les 3 bandes spectrales du rouge, vert et bleu, alors il devient impossible de réaliser une composition vraies couleurs pour ce capteur.



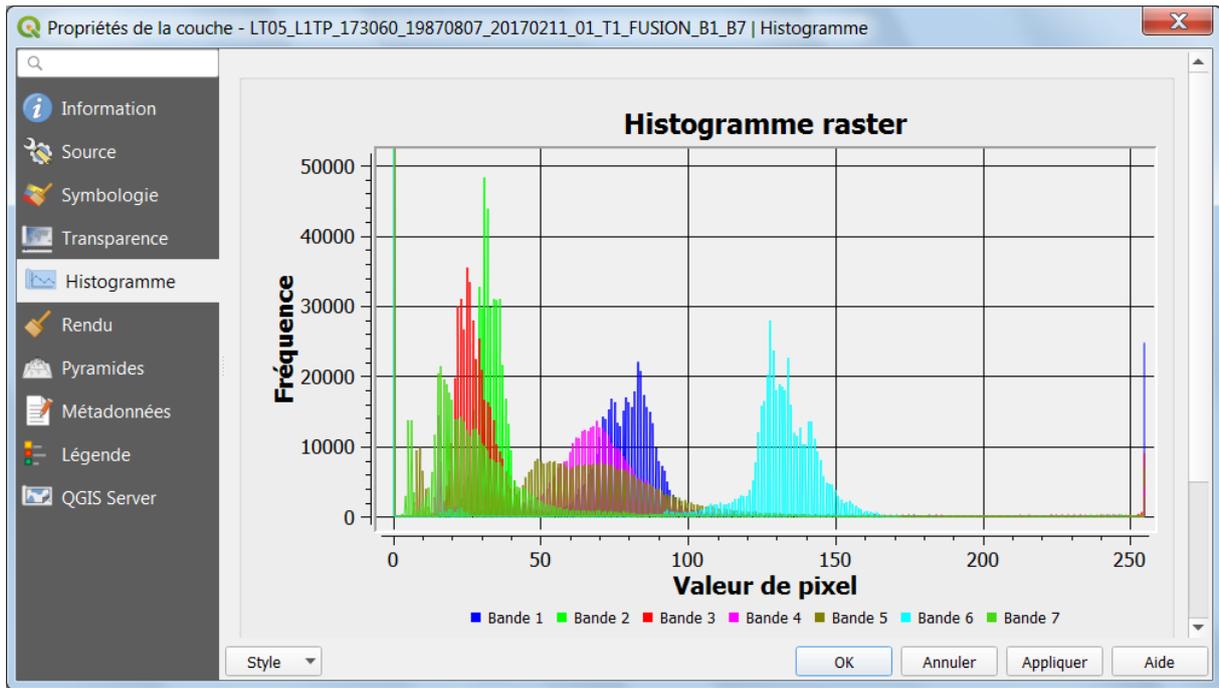
**Figure 17 : Paramétrisation des propriétés de symbologie de l'image Landsat-5 fusionnée pour obtenir une « composition vraies couleurs » (RGB = Bandes 3,2,1 et Paramètres de valeurs Min/Max adaptés)**

Le rendu visuel par défaut d'une image satellite dans QGIS est souvent de mauvaise qualité. A vous donc d'améliorer la visualisation de l'image via les différentes possibilités reprises ci-dessous.



données sources (la valeur des pixels). Elle ne fait qu'attribuer différemment la palette de couleurs disponibles à votre image afin de faire ressortir certains éléments plus clairement.

- **Dans la Figure 18 - droite**, l'amélioration de contraste appliquée est celle de la Figure 17. La présence de nuages dans la partie nord de l'image résulte en des pixels qui saturent et présentent la valeur maximale possible pour ce type d'image (soit 255 dans ce cas-ci vu que l'image est codée sur 8 bit ( $2^8 = 256$  valeurs possibles allant de 0 à 255)). La distribution de la fréquence des valeurs de pixels pour chacune des bandes spectrales de l'image Landsat-5 TM (Figure 19) montre très clairement que la gamme de valeurs de la plupart des pixels pour une bande spectrale donnée est assez étroite (entre 50 et 100 pour la bande 1 par exemple) mais que certains pixels (ceux identifiant les nuages) présentent une valeur saturant à 255. Ceci a pour conséquence que **la gamme de couleurs possibles est mal distribuée entre d'une part des pixels présentant de relativement faibles valeurs** (pour les diverses occupations du sol) **et d'autres part des pixels présentant la valeur maximale possible** (255 pour les nuages), et résulte en une **image très contrastée** avec des pixels très sombres et des pixels très clairs, ce qui n'est pas idéale pour une bonne analyse visuelle de l'image.
- L'amélioration de contraste peut être calculée soit, via le menu,
  - **« Statistiques de l'emprise > Raster entier »**, sur l'ensemble du raster. Cette option présente le grand avantage de résulter en une symbologie **fixe et donc comparable** indépendamment de la partie du raster visualisée.
  - **« Statistiques de l'emprise > Emprise actualisée »**, sur la partie du raster qui est affichée à l'écran. Cette option présente le grand avantage de résulter en une symbologie qui **s'adapte dynamiquement** à la partie du raster affichée à l'écran, ce qui est très pratique pour visualiser via « zoom in » des parties de raster qui sont soit trop claires, soit trop sombres lorsque le raster est affiché dans son entièreté.
- **Modifier d'autres paramètres de visualisation** (luminosité, contraste, etc)
  - Via les menus « Rendu de la couleur » et « Ré-échantillonnage »

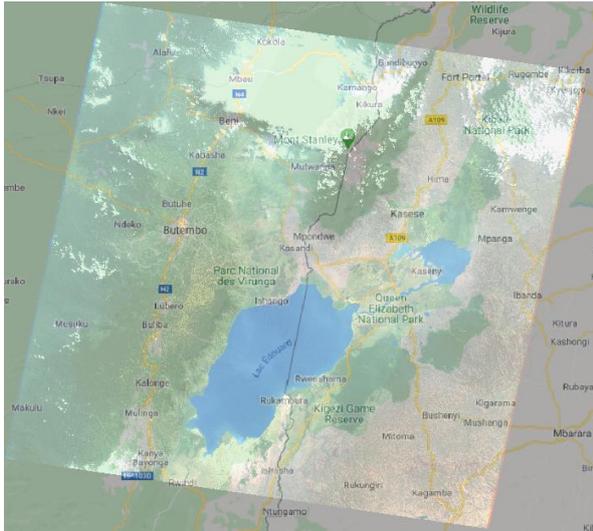


**Figure 19 : Histogramme de la distribution de la fréquence des valeurs de pixels pour chacune des bandes spectrales de l'image Landsat-5 TM**

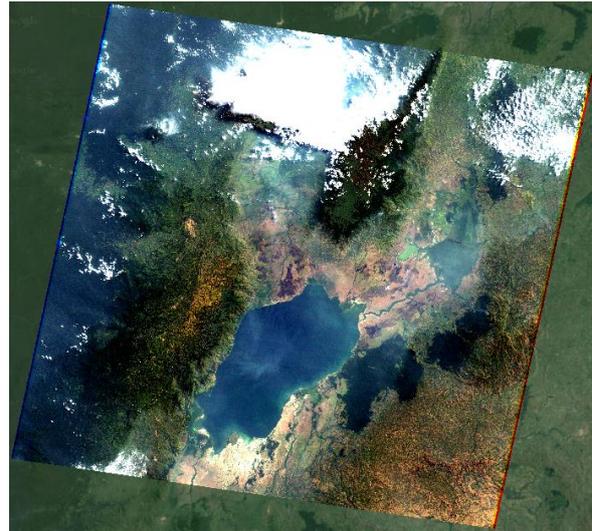
### 4.8.2.2. Transparence

Diverses options de transparence de l'image (Figure 20) sont disponibles via le menu :

- Clic-droit sur la couche raster > Propriétés... > Transparence
  - **Opacité globale** : transparence de l'ensemble de l'image
  - **Options de transparence personnalisée** : cliquez sur la croix verte et indiquez les valeurs de 0-0-0 pour les 3 colonnes Rouge-Vert-Blue et une transparence de 100% pour faire disparaître les bordures noires de l'image



Avec transparence générale de l'image de 70%



Avec transparence des bordures de l'image

Figure 20 : Image Landsat-5 TM avec transparence générale de 70% (opacité de 30%) et comme image de fond le service QMS « Google Road » (gauche), et avec transparence de 100% des bordures et image de fond le service QMS « Google Satellite » (droite)

### 4.8.2.3. Rendu

Permet de définir la gamme d'échelle de visualisation pour laquelle l'image sera affichée à l'écran

- Clic-droit sur la couche raster > Propriétés... > Rendu > Visibilité dépendante de l'échelle

### 4.8.2.4. Pyramides

« Des couches raster de haute résolution peuvent ralentir la navigation dans QGIS car leur taille empêche leur mise en mémoire complète. La création de **copies de résolution inférieure (que l'on nomme pyramides)** peut améliorer la performance d'affichage. » Attention ! Altération possible de l'image d'origine ! (Source = menu QGIS de construction des pyramides).

## 4.9. Autres outils d'interrogation des images

Plusieurs outils, présentés ci-dessous, sont disponibles pour accéder aux informations caractérisant une image satellite.

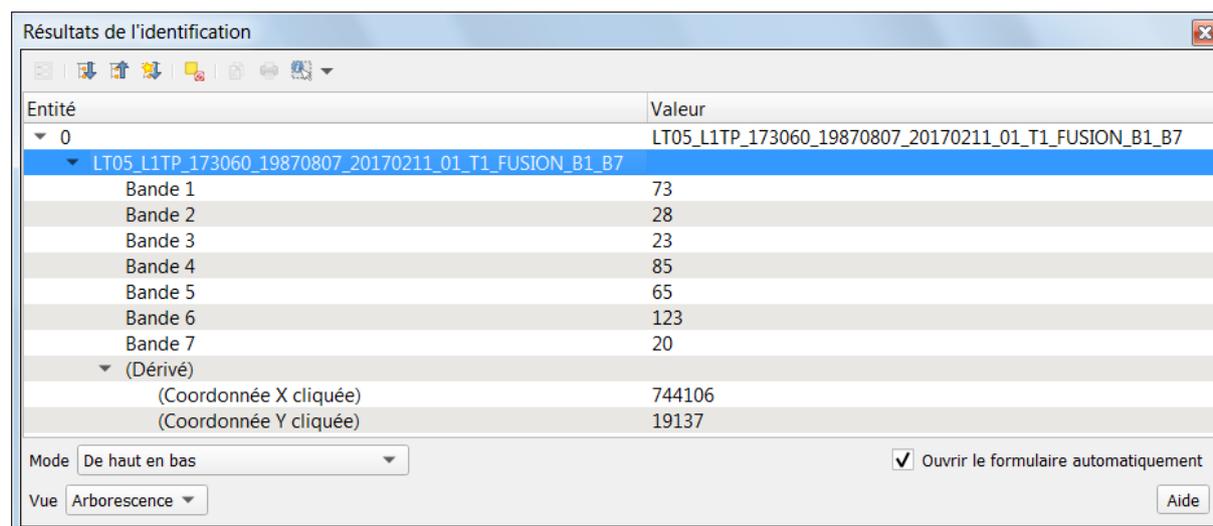
### 4.9.1. L'outil « Identifier les entités »

L'outil « Identifier les entités »  permet d'afficher les valeurs de pixels des différentes bandes spectrales d'une image et d'obtenir les coordonnées géographiques du point consulté.

Pour l'utiliser :

- Sélectionnez l'image d'intérêt dans le panneau « Couches »
- Cliquez sur cet outil puis sur le pixel à interroger

Et une fenêtre reprenant les informations d'intérêt s'ouvrira.



Entité	Valeur
0	LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_FUSION_B1_B7
LT05_L1TP_173060_19870807_20170211_01_T1_FUSION_B1_B7	
Bande 1	73
Bande 2	28
Bande 3	23
Bande 4	85
Bande 5	65
Bande 6	123
Bande 7	20
(Dérivé)	
(Coordonnée X cliquée)	744106
(Coordonnée Y cliquée)	19137

Mode   Ouvrir le formulaire automatiquement

Vue

Figure 21 : Fenêtre de résultat de l'identification d'un pixel de l'image Landsat-5 TM fusionnée via l'outil « Identifier les entités »

#### 4.9.2. Outil de mesures de distances, superficies et angles

L'outil « Mesurer » permet de mesurer des distances, superficies et angles sur une image :

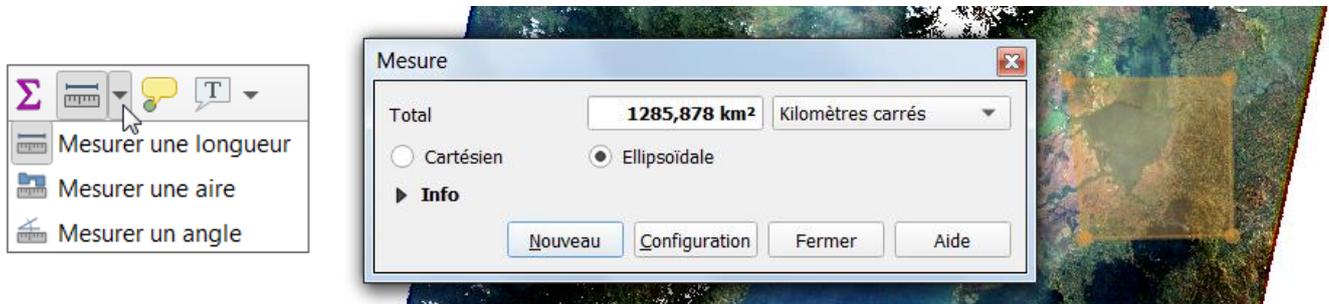
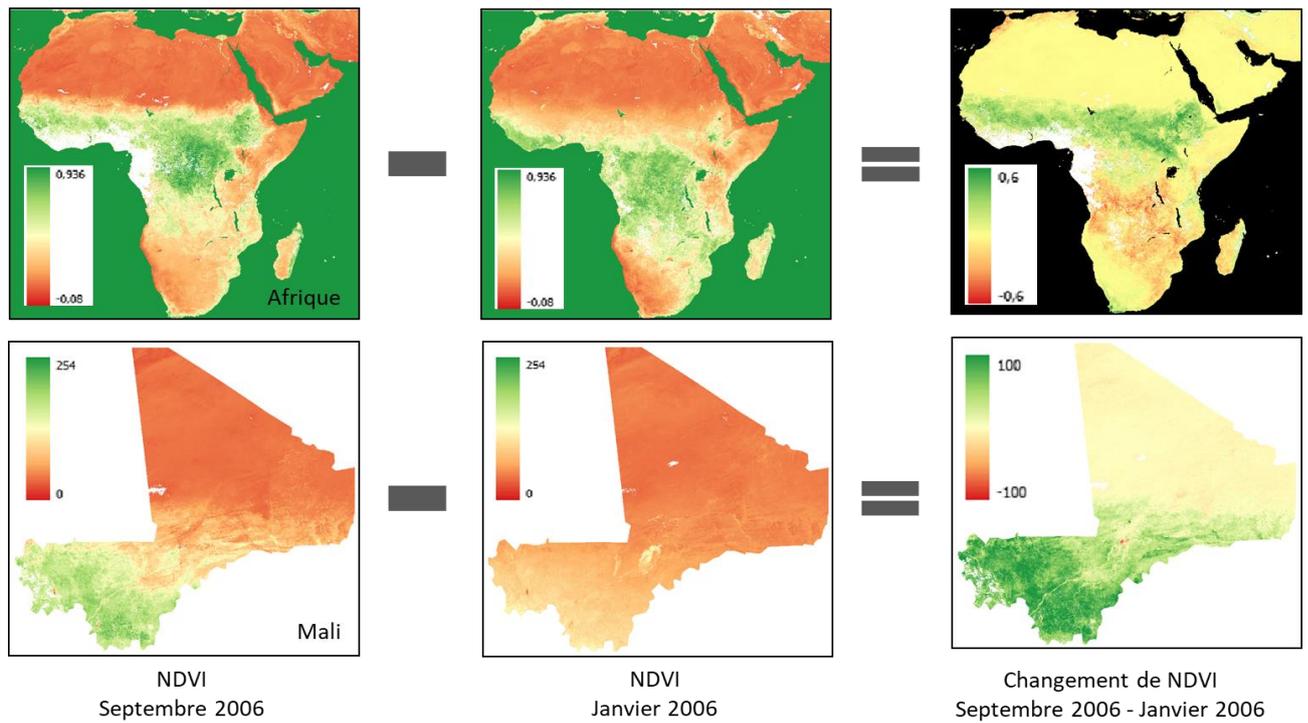


Figure 22 : Outil « Mesurer » avec un exemple de mesure d'une superficie

## 5. Analyse de changement simple dans QGIS

<b>Dernière mise à jour</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>25/07/2024</b> (utilisation du nouveau portail de téléchargement COPERNICUS et de la version 3 du produit NDVI utilisé (version 1 précédemment))</li></ul>
<b>Objectifs pédagogiques</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Trouver et télécharger</b> des images satellites NDVI basse résolution sur le web</li><li>• Réaliser une <b>analyse de changement visuelle</b></li><li>• Réaliser une <b>analyse de changement mathématique</b> avec gestion des pixels ne représentant pas du NDVI</li><li>• Mettre en relation l'analyse d'images satellites NDVI avec des <b>données climatiques</b></li><li>• Choisir une <b>symbologie raster</b> pertinente par rapport à la donnée à représenter</li><li>• Bien comprendre la <b>nature des données</b> afin de réaliser une analyse/interprétation correcte</li></ul>
<b>Données &amp; Projet QGIS!</b>	<p>Les données nécessaires à la réalisation de cet exercice <b>ET</b> les données résultant des opérations à faire dans cet exercice sont toutes disponibles dans le dossier « ...\<b>2_ANALYSE_DE_CHANGEMENT_SIMPLE</b>\... » (~ 1.06 GB). Ce dossier contient 2 sous-dossiers : « <b>NDVI AFRIQUE</b> » et « <b>NDVI MALI</b> » correspondant aux 2 zones pour lesquelles l'analyse de changement est illustrée dans ce manuel. Les fichiers disponibles pour chaque zone correspondent essentiellement à :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>2 images NDVI</b> basse résolution pour janvier et septembre 2006.</li><li>• <b>1 image</b> exprimant le <b>changement de NDVI</b> entre les 2 dates.</li><li>• <b>1 image</b> de <b>masque binaire 0/1</b> qui identifie les <b>pixels invalides/valides</b> dans l'image de changement de NDVI.</li></ul> <p>Même si ces données sont mises à votre disposition, il vous est conseillé, pour un bon apprentissage, de <b>refaire toutes les étapes de l'exercice par vous-même (téléchargement et analyse des images) comme indiqué dans les sections suivantes</b>. Considérez donc ces données comme l'exemple auquel il faut arriver.</p> <p><b>Notez que vous ne devrez faire l'analyse que pour la zone « MALI »</b> car le téléchargement d'images NDVI sur l'ensemble de l'Afrique à partir du portail COPERNICUS n'est actuellement plus possible (juillet 2024).</p> <p>Téléchargez ce dossier sur votre ordinateur en local dans votre</p>

	<p>répertoire de travail et décompressez-le. ATTENTION ! Voyez la section 1.2 page 19 pour plus d'information sur l'accès aux données.</p> <p><b>Projet QGIS : « ANALYSE_CHANGELEMENT_SIMPLE.qgz »</b> situé dans ce même dossier.</p>
<b>Logiciel ou application</b>	<p><b>QGIS 3.12 ou supérieur</b>  <a href="https://www.qgis.org/fr/site/forusers/download.html">(<a href="https://www.qgis.org/fr/site/forusers/download.html">https://www.qgis.org/fr/site/forusers/download.html</a>)</a>.</p>
<b>Temps approximatif</b>	~ 2 heures
<b>Prérequis</b>	Aucun.
<b>Consignes de départ</b>	<p>A l'aide des indications ci-dessous, <b>analysez l'évolution des conditions de végétation <u>du Mali</u> entre janvier et septembre 2006 (Figure 23)</b>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Procurez-vous</b> et utilisez des <b>images satellites basses résolution de type NDVI sur le Mali</b>.</li> <li>• Réalisez une <b>analyse de changement visuelle</b>.</li> <li>• Réalisez une <b>analyse de changement mathématique</b>.</li> </ul> <p><b>Interprétez vos résultats</b> en vous aidant de <b>diagrammes ombrothermiques</b> (diagrammes climatiques température et précipitations).</p>



**Figure 23 : Analyse de changement simple basée sur la soustraction mathématique de 2 images NDVI basse résolution sur l'Afrique (valeurs = NDVI) et le Mali (valeurs = DN proportionnel au NDVI) et images de changement résultantes.**

## 5.1. Accès aux images satellites basse résolution de type NDVI du capteur SPOT-VEGETATION: recherche et téléchargement

A l'aide des indications ci-dessous, téléchargez 2 images satellites basses résolution de type NDVI sur le Mali pour janvier et septembre 2006. ~ 30 minutes.

Le site web « Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) »

- <https://land.copernicus.eu/en>

distribue gratuitement de très nombreux produits (images satellites et produits dérivés) issus de l'observation de la terre dans le cadre du programme européen Copernicus.

- Rendez-vous sur ce site web

Technical assistance ▾ Production updates News and Events ▾ Work opportunities | Register/Login | Search Site

European Union Copernicus Europe's eyes on Earth Land Monitoring Service CLMS portfolio Dataset catalogue Data viewer Use cases About us

### Copernicus Land Monitoring Service (CLMS)

We provide geographical information on land cover and its changes, land use, ground motion, vegetation state, water cycle and earth surface energy variables for both Europe and the entire globe.

All products are free of charge and can be used for any purpose.

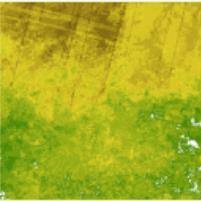
1st CLMS General Assembly 3-5 June 2024 - REGISTRATION OPEN Credits

- Land Cover and Land Use Mapping**  
Land cover classifications complemented by detailed layers on vegetated and non-vegetated land cover characteristics
- Priority Area Monitoring**  
Tailored land cover and land use information with a higher level of detail for specific areas of interest prone to environmental changes
- Bio-geophysical Parameters**  
Qualified bio-geophysical products on the status and evolution of the land surface complemented by the long term time series
- Ground Motion Monitoring**  
Information on the natural and anthropogenic ground motion throughout Europe with millimeter accuracy
- Satellite Data**  
Satellite image mosaics from Copernicus and commercial satellite missions monitoring land surface conditions
- Reference and Validation Data**  
Ground-based observations, geospatial reference data used in CLMS product creation or validation

- Choisissez le menu « Bio-geophysical Parameters »  
<https://land.copernicus.eu/global/themes/vegetation>
- Choisissez le menu « Get overview > Bio-geophysical Parameters > Vegetation > Normalised Difference Vegetation Index (cliquez sur cet élément) » : <https://land.copernicus.eu/en/products/vegetation>

Normalised Difference Vegetation Index	AVAIL.	GEOGR. COVERAGE	TEMP. RESOL.	SPATIAL RESOL.	EO DATA SOURCES
	2016 - present	Europe	Daily	10 m	Sentinel-2
	2020 - present	Global	10-daily	300 m	Sentinel-3 OLCI
	2014 - 2020	Global	10-daily	300 m	PROBA-V
	1999 - 2020	Global	10-daily	1 km	SPOT/VEGETATION PROBA-V

- Choisissez le menu « Vegetation > Main > Datasets > Vegetation Indices > Normalised Difference Vegetation Index 1999-2020 (raster 1 km), global, 10-daily – **version 3** > View more »



**Normalised Difference Vegetation Index 1999-2020 (raster 1 km), global, 10-daily - version 3**

NDVI is an indicator of the greenness of the biomes. Every 10-days estimates are available at global scale in the spatial resolution of about 1km from 1999 to 2013 based upon SPOT/VEGETATION data and from 2014 to June 2020 based upon PROBA-V data.

[View more](#)
[Download](#)

- Jetez un œil à :
  - La définition du NDVI (aussi développée dans la Figure 26)
  - La section « Data layers », et en particulier aux informations du tableau ci-dessous (PV = NDVI dans ce cas-ci) :

**Data file content:**

The physical values (PV) are derived from the digital number (DN) using the relation:  $PV = \text{Scaling} * DN + \text{Offset}$

LAYER NAME	DESCRIPTION	PHYSICAL UNIT / CLASSES	PHYSICAL MIN	PHYSICAL MAX	DIGITAL MAX	SCALING	OFFSET
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	-	-0.08	0.92	250	1/250	-0.08

...

Specific values are used for the NDVI layer: 254 for sea pixels (QFLAG=16) and 255 for missing input data (QFLAG=0 or QFLAG=1). For the NDVI\_unc layer: -1 for missing data and for the TIME\_GRID layer: -32767 (sea) and -32768 (missing data over land).

Remarque : (1/250 = 0.004)

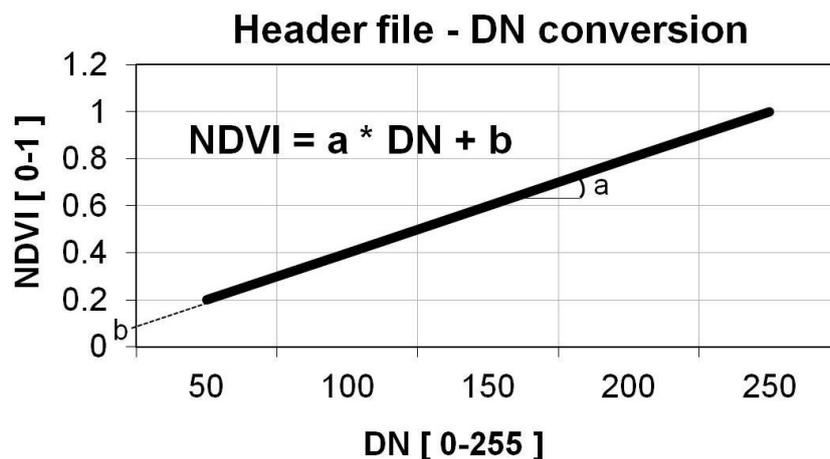
**Figure 24 : Caractéristiques des images NDVI distribuées sur le site web « Copernicus Land Monitoring Service » accessibles via le menu précisé ci-dessus, avec en particulier les paramètres « scaling » et « offset » utilisés pour transformer les Digital Number (DN) en valeurs de NDVI.**

Les **valeurs de NDVI**, qui varient théoriquement entre -1 et +1 (confer Figure 26), sont encodées dans les pixels des images à l'aide de nombres entiers. Ces valeurs entières réellement encodées dans les pixels sont appelées les « **Digital Number (DN)** ». Dans le cas d'une **image codée sur 8 bits**, comme c'est le cas pour les images NDVI SPOT-VEGETATION, les DN de chaque pixel peuvent prendre  $2^8 = 256$  **valeurs possibles, allant de 0 à 255**. Les valeurs de NDVI correspondant à ces DN peuvent être obtenues par simple transformation mathématique (Figure 24 et Figure 25), dans ce cas-ci via la formule

- **$NDVI = 0.004 * DN - 0.08$**

Le paramètre 0.004 (=1/250) correspond à la pente de la droite de transformation (anglais : scaling)

Le paramètre -0.08 correspond à l'intercepte de la droite de transformation (anglais : offset)



**Figure 25 : Principe de la conversion des DN (Digital Numbers) en valeurs NDVI via une fonction mathématique du premier degré présentant les 2 coefficients pente (ou scaling) (a) et intercepte (ou offset) (b).**

## NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

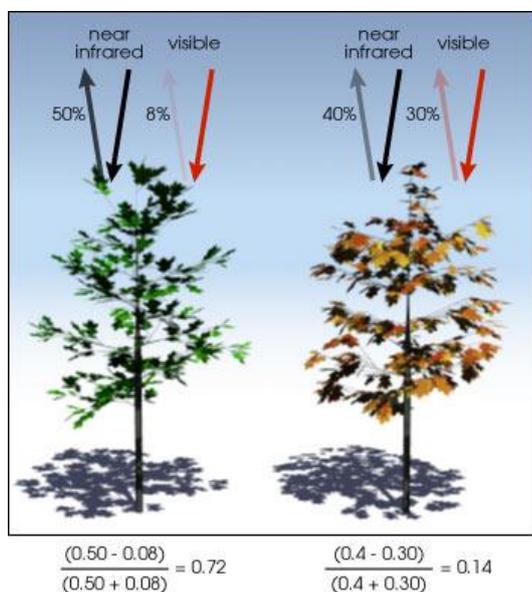
Le **NDVI** est un **indice de végétation** qui se définit comme la différence normalisée des mesures de réflectance spectrale acquises dans les zones de longueurs d'onde « Proche Infra-Rouge » (« PIR ») et « Rouge ».

$$NDVI = \frac{(PIR - Rouge)}{(PIR + Rouge)}$$

Sa valeur théorique varie entre **-1 et 1**. En pratique, une surface d'eau libre (océan, lac,...) prendra des valeurs de NDVI proches de 0, un sol nu prendra des valeurs de 0.1 à 0.2, alors qu'une végétation dense aura des valeurs de 0.5 à 0.8.

### Explication physique du NDVI

Les plantes vertes absorbent une grande partie des radiations solaires dans une zone de longueurs d'onde appelée « **PAR** » (« Photosynthetically Active Radiation »), dont fait partie la zone du « **Rouge** ». Par contre, le « **PIR** » est fortement diffusé (non absorbé : transmis et réfléchi) par la plante. Par conséquent, une plante verte vive apparaît sombre dans le PAR (dont le rouge) car ces longueurs d'ondes sont absorbées par la plante (petite valeur de réflectance), et « brillante » dans le « PIR » car ces longueurs d'ondes sont réfléchies en partie (grande valeur de réflectance).



Une **végétation en bonne santé** (gauche) absorbe la plupart de la lumière visible qui l'intercepte et réfléchit une partie importante de la lumière PIR.

Une **végétation en mauvaise santé** ou clairsemée (droite) réfléchit plus de lumière visible et moins de PIR.

Les chiffres de la figure ci-contre sont représentatifs de valeurs réelles mais la réalité est bien plus variée.

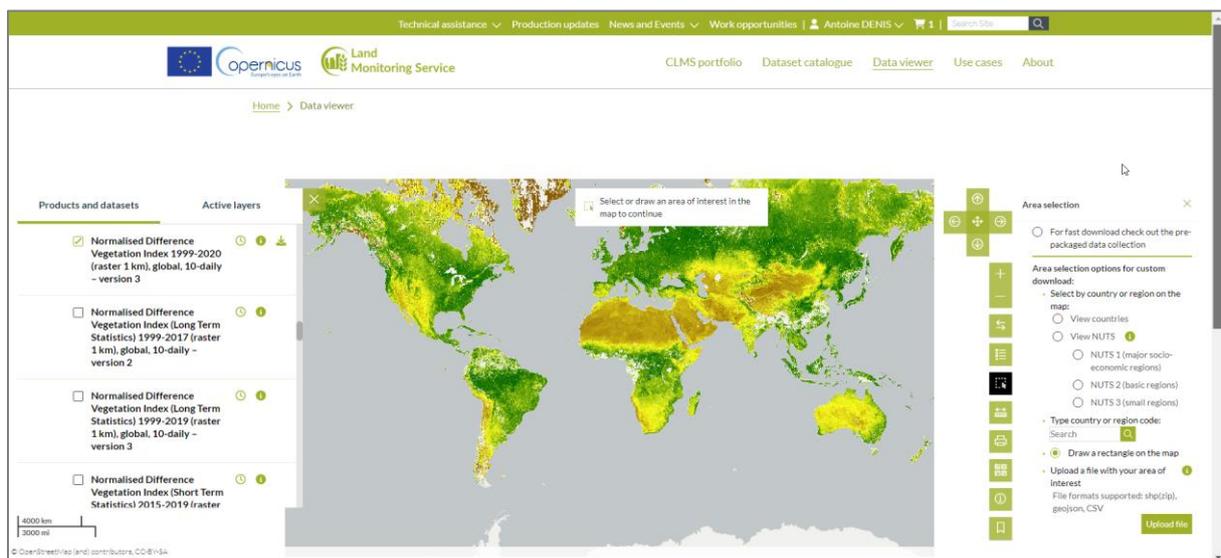
(Illustration by Robert Simmon, NASA GSFC).

Le NDVI est directement lié à l'**activité photosynthétique** des plantes et donc à la capacité d'absorption énergétique de la canopée du couvert végétal. Il agit comme indicateur de la **biomasse chlorophyllienne** des plantes. En termes de réflectance dans le PIR et le Rouge, la neige et les nuages se comportent à l'inverse des plantes vertes.

Figure 26 : Explication du NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

## Pour accéder aux et télécharger les images NDVI :

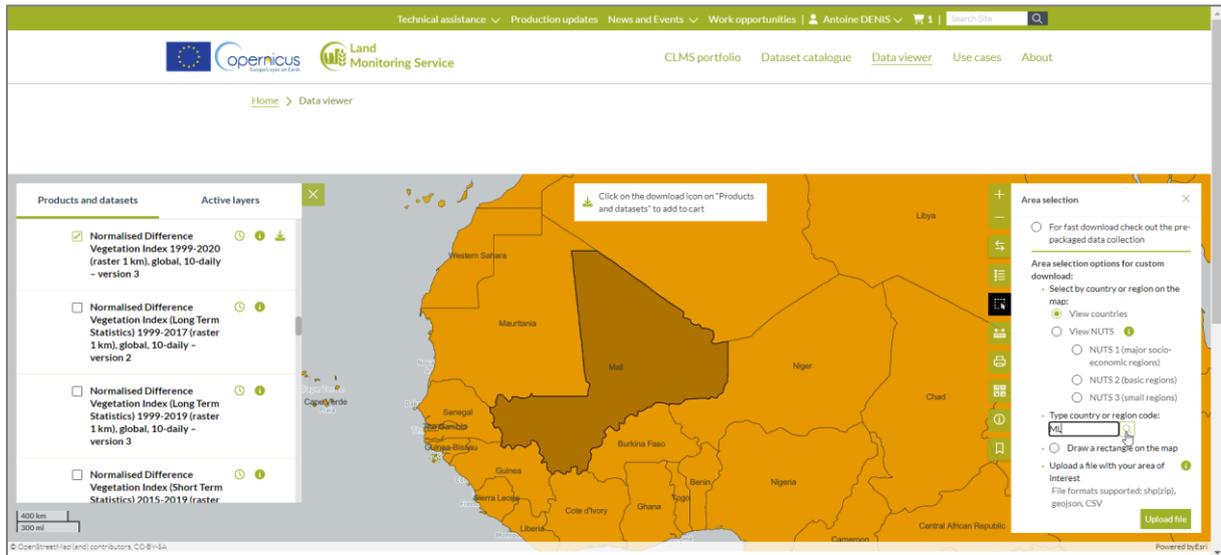
- Sur la page <https://land.copernicus.eu/en/products/vegetation/normalised-difference-vegetation-index-v3-0-1km>, cliquez sur « Download > Go to download by area ».
- Suivez la procédure via la fenêtre qui apparaît pour vous créer un **identifiant et un login « EU Login »**. Vous recevrez un **email** dans la boîte email que vous avez renseignée : pensez à vérifier vos spam ! Cet email vous permettra de créer un **mot de passe**, en respectant les contraintes imposées. Après création du mot de passe, vous devriez pouvoir vous **connecter** à la page du point précédent, pour le téléchargement. Vous serez invités à compléter une série d'information sur votre « user profile » (pays, etc). Notez bien votre « user name » et « password ».
- Revenez à la page <https://land.copernicus.eu/en/products/vegetation/normalised-difference-vegetation-index-v3-0-1km>, et cliquez sur « Download > Go to download by area » pour le téléchargement. Vous devriez arriver sur le portail ci-dessous. Assurez-vous que vous êtes bien connectés (votre nom devrait apparaître dans le coin supérieur droit du portail).



- Le bon produit NDVI doit en principe déjà être coché dans le panneau de gauche, sinon cochez-le.
- Pour sélectionner la **région d'intérêt** :
  - Malheureusement pour le moment (juillet 2024) il ne semble pas possible de sélectionner une zone aussi grande que l'Afrique car cela désactive la possibilité de téléchargement dans le panneau de gauche. (Le téléchargement sur une grande zone était possible dans l'ancien portail de téléchargement, portail désactivé le 1/7/2024).
  - Dans le panneau de droite, choisissez le menu « Area selection »
    - View countries » et sélectionnez le **pays** qui vous intéresse sur la carte (le Mali (code ML) dans le cadre de l'exemple présenté dans ce

manuel). Confer image ci-dessous. Remarque : les codes de pays sont disponibles par exemple ici : <https://countrycode.org/>.

- **OU** l'option **Draw a rectangle on the map** » et dessinez un rectangle autour de la zone d'intérêt, rectangle qui doit être suffisamment petit que pour permettre le téléchargement (la flèche de téléchargement se désactive automatiquement si la taille limite est dépassée et l'option alternative de téléchargement « full dataset M2M » semble trop complexe que pour être explorée).



- Cliquez ensuite sur la flèche de téléchargement dans le panneau latéral de gauche et sur le bouton « Go to cart » dans la fenêtre qui apparaît.



- **Paramétrez** l'interface qui apparaît comme ci-dessous (cas du Mali) en sélectionnant le format **GeoTIFF**, la projection **EPSG4326** et **LA (une seule période)** de la première image désirée, comme indiqué ci-dessous pour la première décade (jours 1 à 10) de janvier 2006. (En juillet 2024, choisir plusieurs dates différentes résulte en un bug au moment du téléchargement avec le téléchargement de plusieurs fois la même image, avec le même nom : à éviter).
- Puis cliquez sur « **Proceed download request** ».

### My cart

Static info	Configurable	Projection ?	Timeseries
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Name:</b> Normalised Difference Vegetation Index 1999-2020 (raster 1 km), global, 10-daily - version 3 <b>Source:</b> Data viewer <b>Area:</b> Mali	<b>Type:</b> RASTER <b>Collection:</b> 1km <b>Format:</b> <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">GeoTIFF</span> <b>Layer/Band:</b> <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">ALL BANDS</span>	<span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">EPSG:4326 (Source system of the dataset)</span>	<div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <span> 01.01.2006-10.01.2006</span> <span></span> <span></span> </div>

Process download request

- **Rendez-vous** ensuite sur la page <https://land.copernicus.eu/en/cart-downloads> pour suivre le statut de votre demande.
- Après quelques secondes, minutes ou heures (en fonction du niveau d'utilisation du serveur par la communauté mondiale) l'image demandée devrait être prête au téléchargement dans la rubrique « Completed » (et vous recevrez également un email avec le lien de téléchargement).
- **Téléchargez-la** via le texte « Download file ».

## Downloads

---

Due to the successful launch of the new CLMS website, we are experiencing some delays, which are longer than expected, but please don't cancel your download and try again before the end of the day.

### Queued

There are no tasks

### In progress

There are no tasks

### Completed

**Task ID:** 73365039269

**Job ID:** 90181

Start date: 24.07.2024 16.16  ⓘ

End date: 24.07.2024 16.16  ⓘ

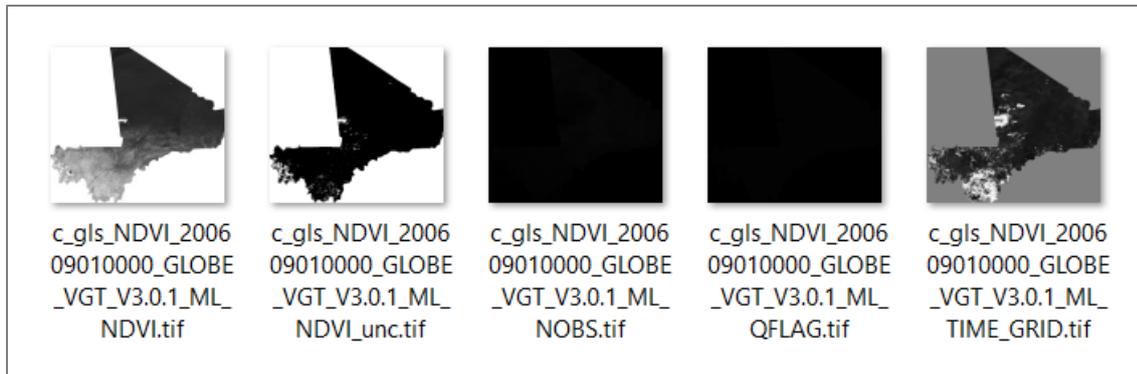
- Normalised Difference Vegetation Index 1999-2020 (raster 1 km), global, 10-daily - version 3 - Geotiff (NUTS: ML)

Download file (2.22 MB) | Expires in 3 days

- **Répétez** le processus ci-dessus pour l'image de la **première décade de septembre 2006**.
- Après téléchargement des 2 images, **déplacez les dossiers téléchargés** (leurs noms ressembleront à ceci : « 90168.zip ») **dans votre répertoire de travail**,

c'est-à-dire dans le répertoire « \2\_ANALYSE\_DE\_CHANGEMENT\_SIMPLE\MON\_ANALYSE \ ».

- **Décompressez** ces dossiers. Ceci peut se faire par exemple avec le logiciel gratuit 7-zip disponible ici <https://www.7-zip.org/> (à n'installer que si un logiciel de ce type n'est pas déjà installé sur votre ordinateur). Le contenu du dossier de septembre est présenté ci-dessous.

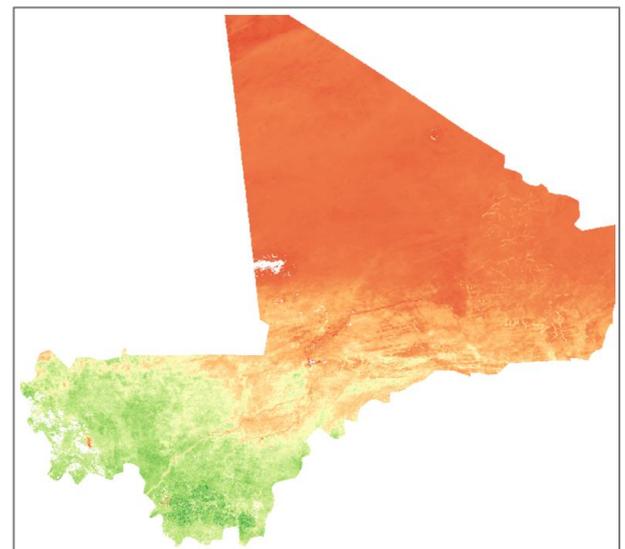
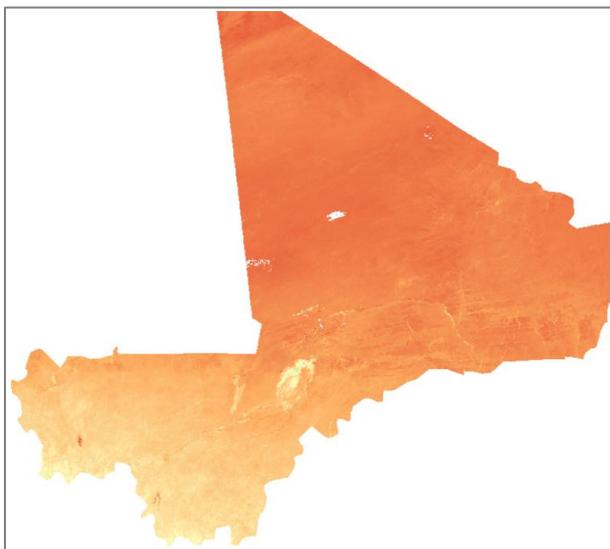
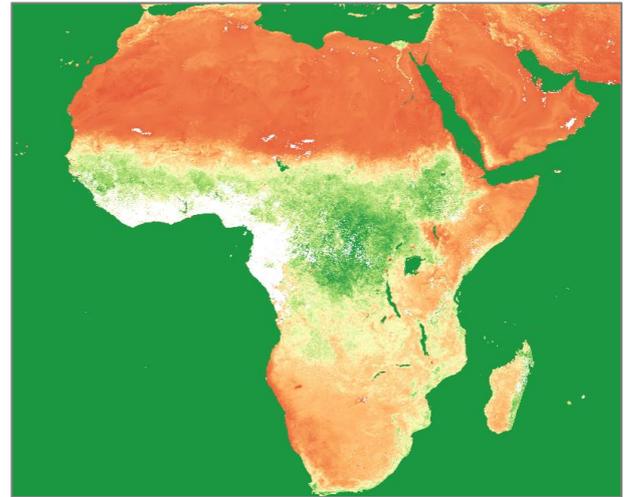
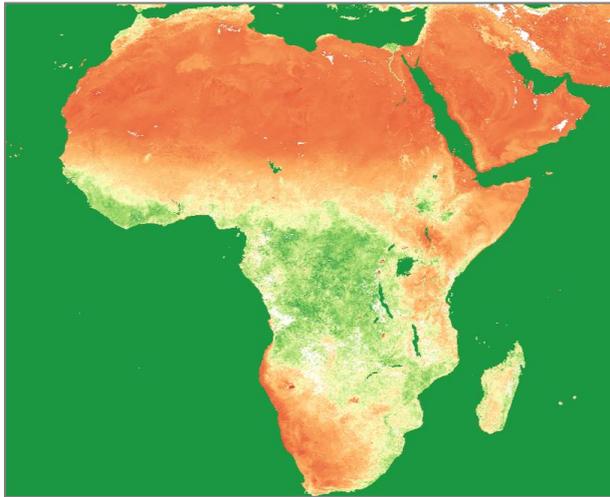


- Après décompression, un dossier a une taille numérique de 20.5 MB dans ce cas-ci (Mali).
- Seules les 2 images suivantes, qui correspondent aux **valeurs de NDVI**, seront utiles (les autres peuvent être supprimées) :
  - c\_gls\_NDVI\_200601010000\_GLOBE\_VGT\_V3.0.1\_ML\_NDVI.tif (janvier)
  - c\_gls\_NDVI\_200609010000\_GLOBE\_VGT\_V3.0.1\_ML\_NDVI.tif (septembre)
- Les dates reprises dans les noms des images, sont indiquées dans le format « YYYYMMDD » ou « Année\_Mois\_Jours\_dans\_la\_décade ». Pour les jours (DD), « 01 » correspond à la première décade du mois, « 11 » à la 2<sup>ème</sup> et « 21 » à la 3<sup>ème</sup>.

Les images NDVI du Mali sont maintenant prêtes à être importées dans QGIS pour analyse (confer section suivante).

## 5.2. Analyse visuelle des images satellites NDVI basse résolution

A l'aide des indications ci-dessous, réaliser une **analyse visuelle de l'évolution spatio-temporelle des conditions de végétation** entre janvier et septembre 2006 sur le Mali. ~ 30 minutes.



NDVI Janvier 2006

NDVI Septembre 2006

Figure 27 : 2 images NDVI basse résolution du capteur SPOT-VEGETATION sur l'Afrique et le Mali pour janvier et septembre 2006.

Un dossier contenant l'ensemble de l'exercice déjà réalisé (**projet QGIS** et **données utilisées**) est disponible dans le répertoire :

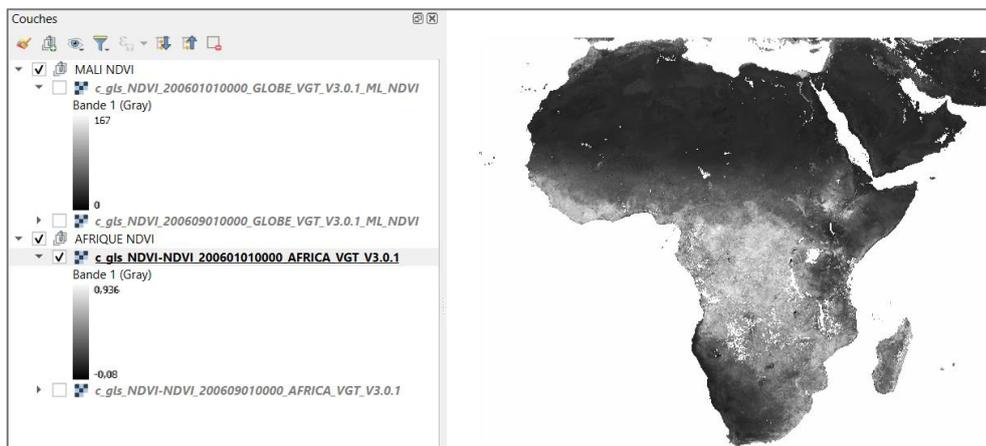
- « ...\2\_ANALYSE\_DE\_CHANGEMENT\_SIMPLE\»

Vous pouvez bien sûr y jeter un œil, en particulier au **projet QGIS** « ANALYSE\_CHANGEMENT\_SIMPLE.qgz ».

Cependant il vous est conseillé de faire l'ensemble des manipulations par vous-même, pour un bon apprentissage, dans un dossier séparé.

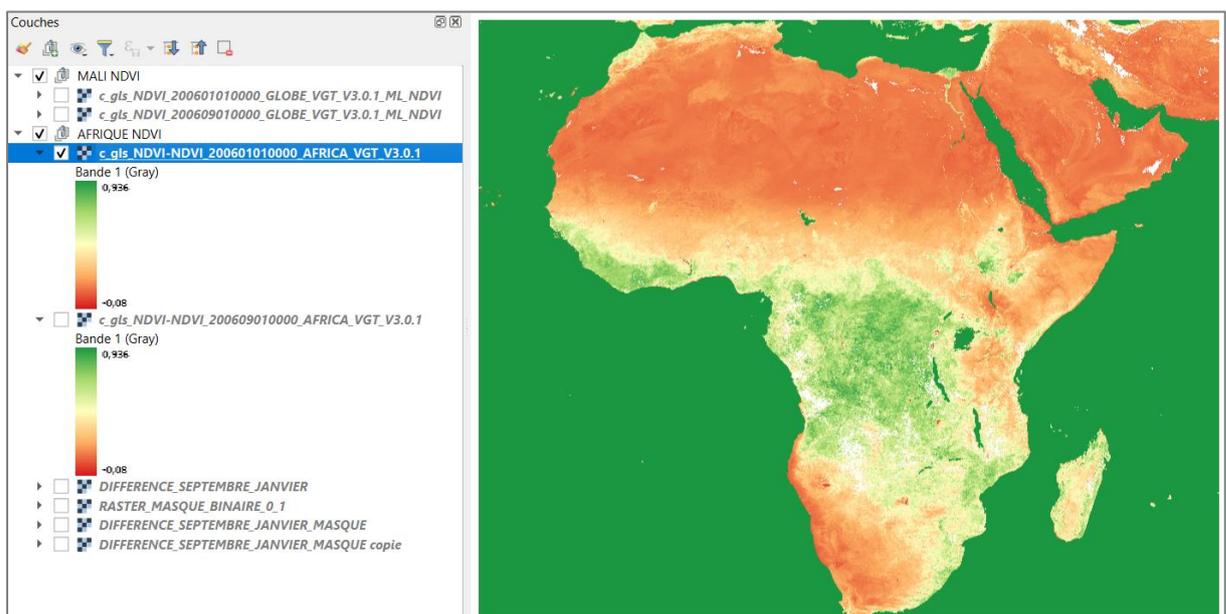
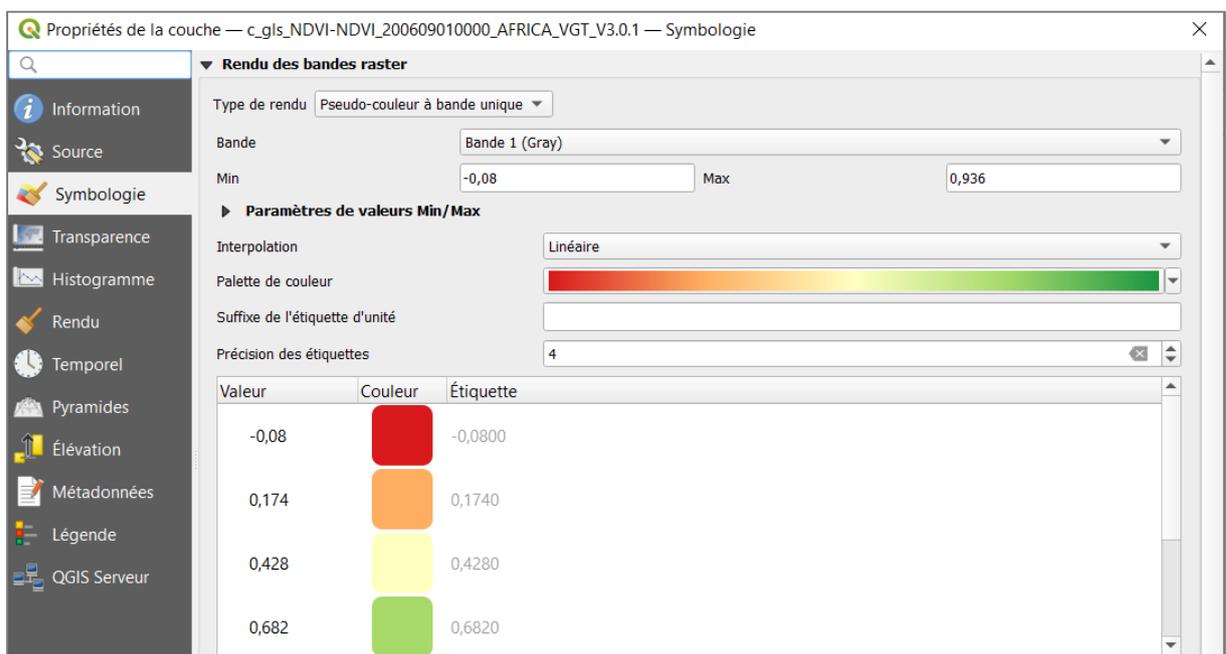
Les étapes à suivre pour réaliser une analyse visuelle des images satellites NDVI basse résolution sont les suivantes :

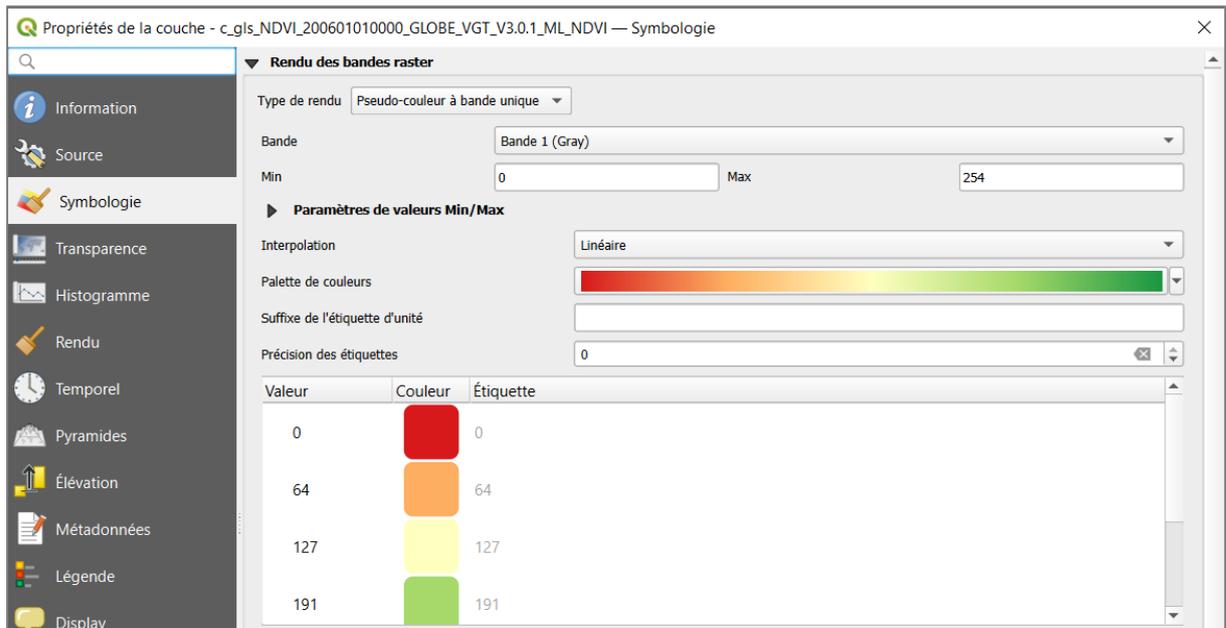
- **Créez un nouveau projet QGIS** que vous appellerez
  - « ...\2\_ANALYSE\_DE\_CHANGEMENT\_SIMPLE\MON\_ANALYSE\ANALYSE\_CHANGEMENT\_SIMPLE.qgz »
- **Ajoutez dans ce projet les 2 images NDVI** de la zone d'intérêt au format « .tif » via le menu « Bouton « Gestionnaire des sources Open Data » > **Raster** > sélection et ajout des 2 images ». Elles s'affichent en dégradé de gris par défaut.



- Changez la **symbologie** des images via un clic droit sur chaque couche > Propriétés... > Symbologie > Pseudo-couleur à bande unique > choisir la palette de couleur d'intérêt..., comme ci-dessous par exemple.
  - Pour l'Afrique les bornes Min et Max sont de -0.08 et 0.936 (valeurs de NDVI)
  - Pour le Mali (ou tout autre pays) veillez à ce que les bornes Min et Max soient 0 et 254 (valeurs de DN de pixel). Vous pouvez les changer manuellement si nécessaire.

Ces bornes Min et Max déterminent la gamme de valeurs de pixels qu'il faut associer à la palette de couleurs. **La différence entre les bornes « Afrique » et « Mali » sont liées à une légère différence de format entre ces images, celles de l'Afrique affichant des valeurs de NDVI, et celles du Mali affichant des valeurs de DN.**





- **Identifiez le SCR des images** via un clic-droit sur une image satellite dans le panneau « Couches » > Propriétés... > Information > SCR ». Ce SCR est « EPSG:4326 - WGS 84 ».
- Vérifiez le **SCR du projet QGIS** via le menu « Projet > Propriétés... > SCR » et attribuez au projet QGIS le même SCR que celui des images, dans ce cas-ci « EPSG:4326 » si ce n'est pas le cas par défaut.

Prenez quelques secondes pour **observer et comparer** les 2 images NDVI.

- **Cochez/Décochez** l'image NDVI supérieure dans le panneau « Couches » afin de visualiser de manière alternée chacune des 2 images.
- Concernant la **palette de couleurs**, notez qu'il est très important que cette palette de couleurs soit fixe/statique (dans ce cas-ci elle évolue de -0.08 à 0.936 pour les 2 images sur l'Afrique, et de 0 à 254 pour les 2 images sur le Mali (après modification

manuelle si nécessaire)) pour que des images différentes (et donc présentant potentiellement une gamme de valeurs NDVI différentes) soient visuellement comparables, c'est-à-dire que une couleur donnée corresponde à une valeur de NDVI donnée dans toutes les images analysées, indépendamment des gammes de valeurs de NDVI (ou DN) réellement rencontrées dans ces images.

Pour analyser l'évolution spatio-temporelle des conditions de végétation sur l'Afrique ou le Mali à partir de ces 2 images, vous devez :

- **Identifier le lien entre les couleurs de l'image, les valeurs de pixels (DN) et le NDVI.**
  - Les Figure 24 et Figure 25 nous renseignent que il y a un **lien directement proportionnel entre les DN** (variant entre [0-255]) **et le NDVI** (variant dans la pratique entre 0 et 1), c'est-à-dire qu'**au plus les DN sont élevés au plus le NDVI sera élevé.**
  - L'analyse de la palette de **couleurs** nous indique que :
    - La **couleur rouge** correspond à de faibles DN, c'est-à-dire de faibles valeurs de NDVI, c'est-à-dire à un développement de la végétation verte faible
    - La **couleur jaune** correspond à des valeurs de DN intermédiaires, c'est-à-dire des valeurs de NDVI intermédiaires, c'est-à-dire à un développement de la végétation verte intermédiaire
    - La **couleur verte** correspond à des valeurs de DN élevées, c'est-à-dire à des valeurs de NDVI élevées, c'est-à-dire à un développement de la végétation verte plus élevé
    - La **couleur blanche** correspond à des pixels sans donnée, qui correspondent typiquement à des pixels ennuagés.
  - **Valeurs spécifiques** de pixels :
    - Valeur de NDVI maximale = 0.92 = « Physical max » = DN de 250.
    - Pixel de valeur 0.936 = pixel de mer ou grande masse d'eau = DN de 254.
    - Pixel « sans donnée » = missing input data = DN de 255.
  - ATTENTION ! Les couleurs utilisées sont donc des **couleurs artificielles** et pas des « couleurs naturelles ». Il ne faut donc les interpréter QUE sur base de leur signification précise et pas sur base d'une impression visuelle subjective qui pourrait se révéler totalement fausse si la palette n'est pas intuitivement interprétable.
- L'analyse visuelle des 2 images peut être facilitée dans certains cas par l'utilisation d'**autres outils** :
  - La valeur des pixels de l'image est consultable également de manière interactive via l'outil « **Identifier des entités** »  en sélectionnant d'abord

l'image à interroger dans le panneau « Couches » puis en cliquant avec cet outil sur l'image à interroger.

- L'utilisation de l'extension (à installer) « **MapSwipe Tool** » qui permet de réaliser un swipe vertical ou horizontal sur les 2 images à comparer
- L'utilisation de **plusieurs fenêtres de visualisation spatialement synchronisées lors de la navigation mais à différentes échelles** (par exemple : une fenêtre sur l'ensemble de l'Afrique et une fenêtre de zoom à une échelle plus grande). De nouvelles fenêtres peuvent être ajoutées via le menu « **Vue > Nouvelle vue cartographique** » et ensuite être paramétrées selon les souhaits de l'utilisateur.

L'analyse et la compréhension de l'évolution spatio-temporelle des conditions de végétation sur l'Afrique peuvent être facilitées par l'utilisation de **diagrammes climatiques** reprenant les variables **température et précipitations**. Cette analyse est menée ici à titre d'exemple pour les 2 villes de **Mopti au Mali et Gaborone au Botswana**, villes localisées à la Figure 28. Les diagrammes climatiques correspondant sont présentés à la Figure 29.

- **Pour Mopti au Mali**, janvier correspond au milieu de la saison sèche et septembre à la fin de la saison des pluies. Nous observons sur les images NDVI des valeurs de NDVI plus importantes, c'est-à-dire une végétation verte plus importante, en septembre qu'en janvier. Et nous observons sur l'image de changement (confer section suivante, Figure 30 page 75) un changement positif (en vert). **En résumé**, les précipitations plus importantes entre mai et septembre contribuent au développement de la végétation verte qui sera plus abondante en septembre, ce qui est visible sur les images NDVI et sur l'image de changement.
- **Pour Gaborone au Botswana** janvier correspond au milieu de la saison humide et septembre à la fin de la saison sèche. Nous observons sur les images NDVI des valeurs de NDVI plus importantes, c'est-à-dire une végétation verte plus importante, en janvier qu'en septembre. Et nous observons sur l'image de changement (confer section suivante, Figure 30) un changement négatif (en rouge). **En résumé**, les précipitations plus importantes entre octobre et janvier contribuent au développement de la végétation verte qui sera plus abondante en janvier, ce qui est visible sur les images NDVI et sur l'image de changement.

Notez enfin la visibilité sur les images NDVI de l'Afrique de quelques « **poches de végétation** » notables :

- Le Delta du Nil (dans le nord de l'Égypte), un écrin de végétation entouré d'une région désertique.
- Le Lac Tchad à la frontière Nigéria/Tchad

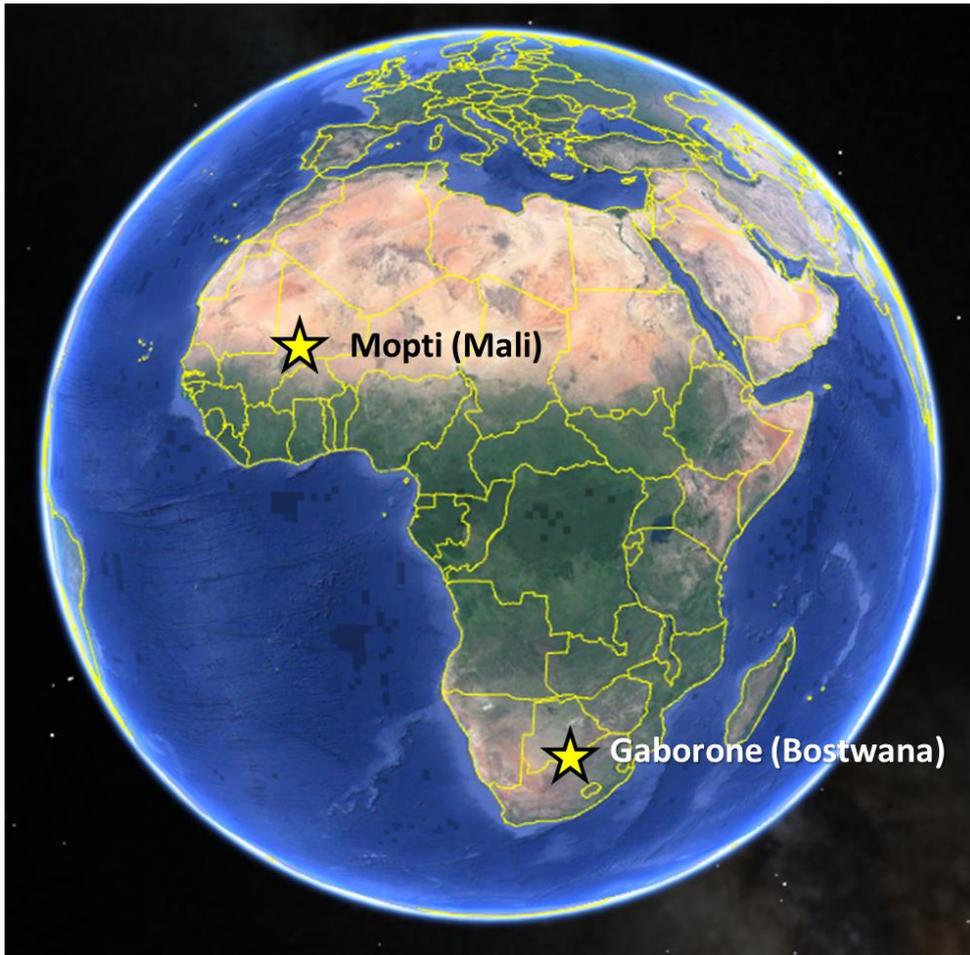


Figure 28 : Aperçu de l’Afrique telle que présentée dans Google Earth avec localisation des 2 villes de Mopti au Mali et Gaborone au Bostwana. Le vert correspond à des zones avec végétation et le jaune-orange aux zones plus désertiques

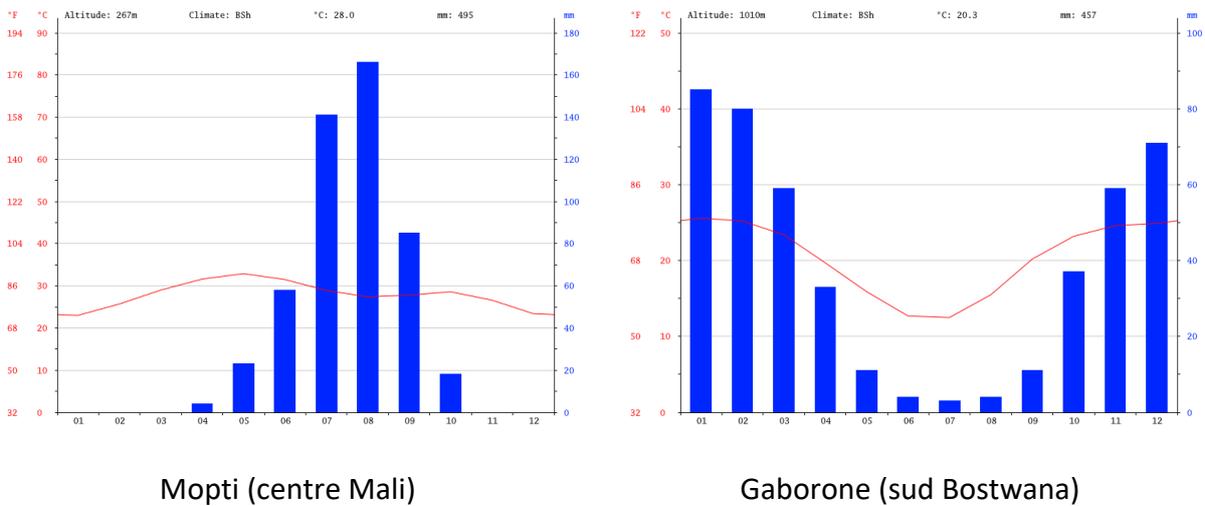


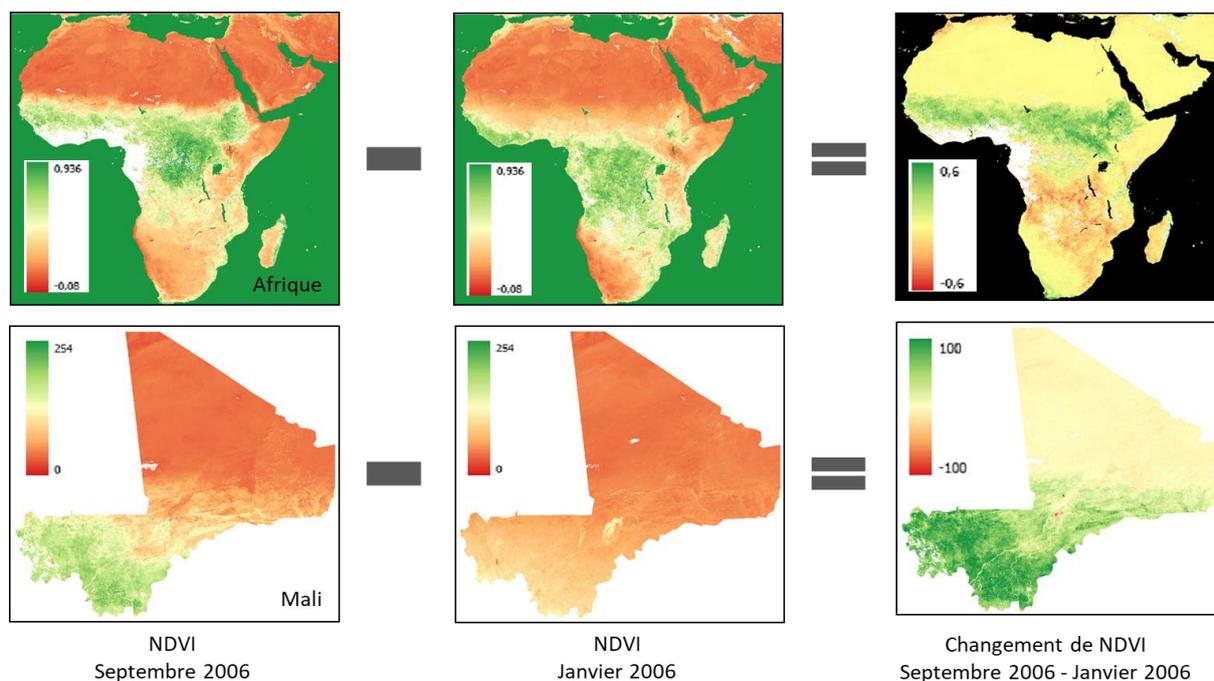
Figure 29 : Diagrammes climatiques de la ville de Mopti au Mali et de la ville de Gaborone au Bostwana. Source: <https://fr.climate-data.org/>.

## 5.3. Analyse de changement mathématique

A l'aide des indications ci-dessous, réaliser une **analyse de changement mathématique de l'évolution spatio-temporelle des conditions de végétation** entre janvier et septembre 2006 sur le Mali. ~ 60 minutes.

### 5.3.1. Différence mathématique avec la « Calculatrice Raster »

Afin de qualifier les changements de conditions de végétation s'étant produits entre janvier et septembre 2006 sur l'Afrique ou le Mali de manière **plus objective** qu'à travers l'analyse visuelle menée à la section 5.2 ci-dessus, **une simple différence mathématique entre les 2 images** peut être réalisée via la « **Calculatrice Raster** » de QGIS. Cette analyse produira une « **image de changement** » dont la valeur des pixels ne devra plus être interprétée comme du « **NDVI** » mais comme un « **changement de NDVI** » (Figure 30 et Figure 31).

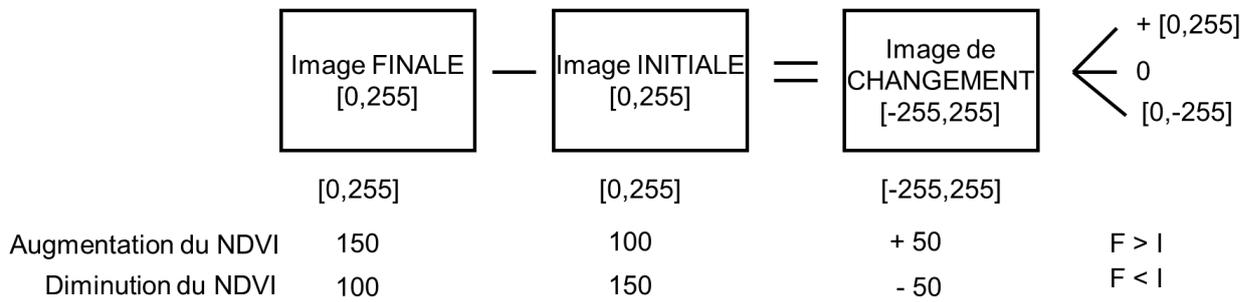


**Figure 30 : Analyse de changement simple basée sur la soustraction mathématique de 2 images NDVI basse résolution sur l'Afrique (valeurs = NDVI) et le Mali (valeurs = DN proportionnel au NDVI) et images de changement résultantes.**

**ATTENTION !** Le « **sens** » de la soustraction est très important. Il faut soustraire l'image initiale (janvier 2006) de l'image finale (septembre 2006), comme indiqué dans les Figure 30 et Figure 31, ceci afin que l'interprétation des valeurs de l'image de changement soit plus intuitive, c'est-à-dire que:

- Une **amélioration des conditions de végétation** entre janvier 2006 et septembre 2006 se traduit par une **valeur positive** dans l'image de changement

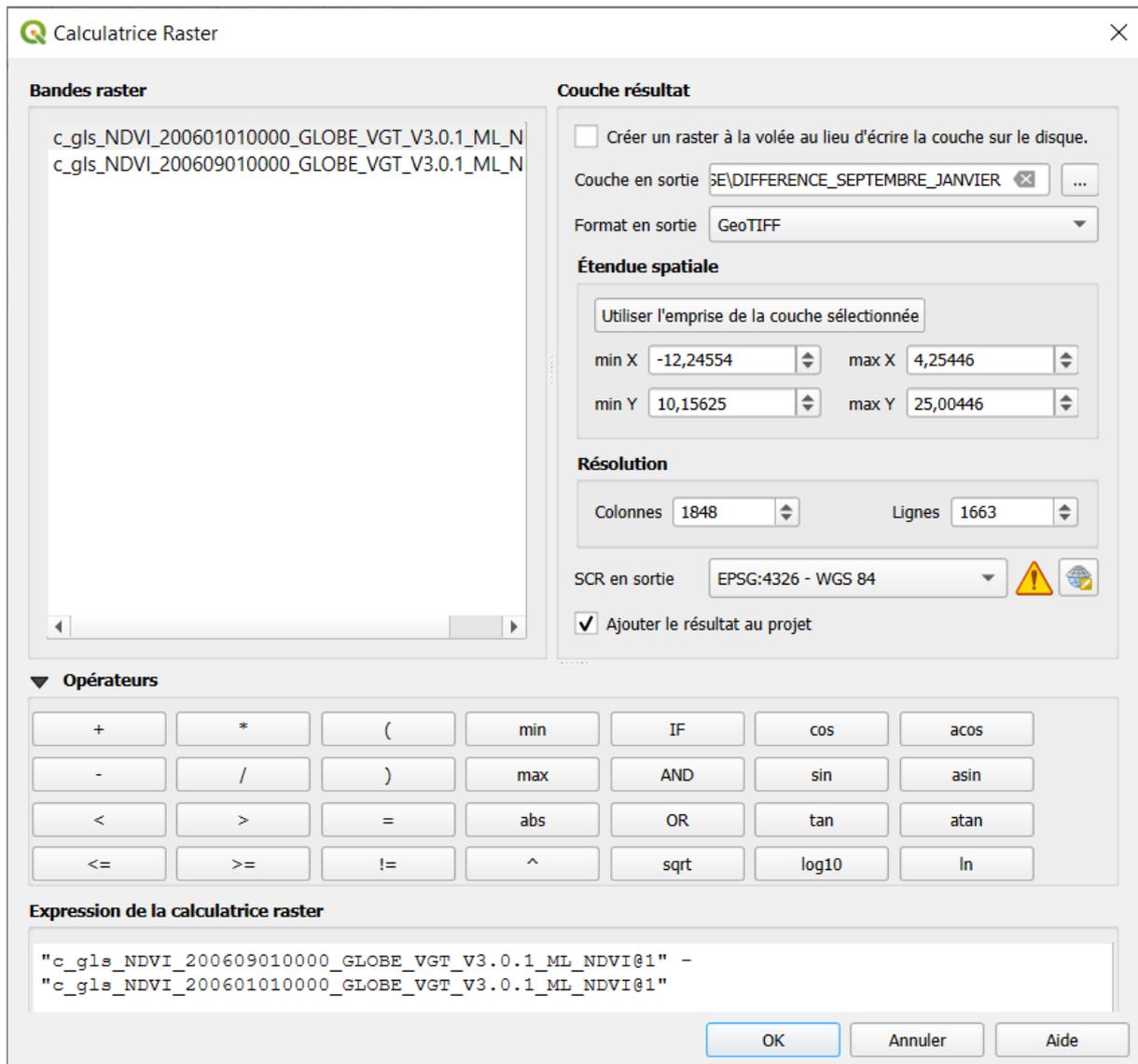
- Une **dégradation des conditions de végétation** entre janvier 2006 et septembre 2006 se traduit par une **valeur négative** dans l'image de changement



**Figure 31 : Illustration de l'opération de soustraction algébrique de 2 images satellites (codées sur 8 bits  $\rightarrow 2^8 = 256$  valeurs possibles dans la gamme [0-255]) avec des exemples de valeurs de pixels (Digital Number (DN)) proportionnel au NDVI.**

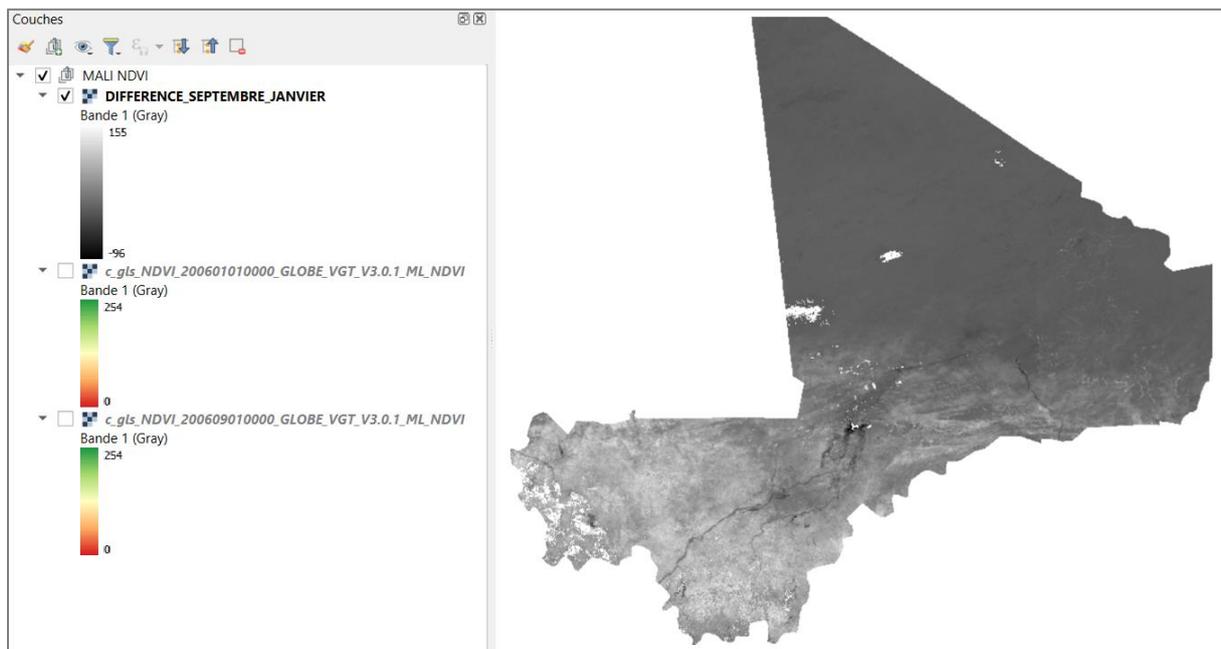
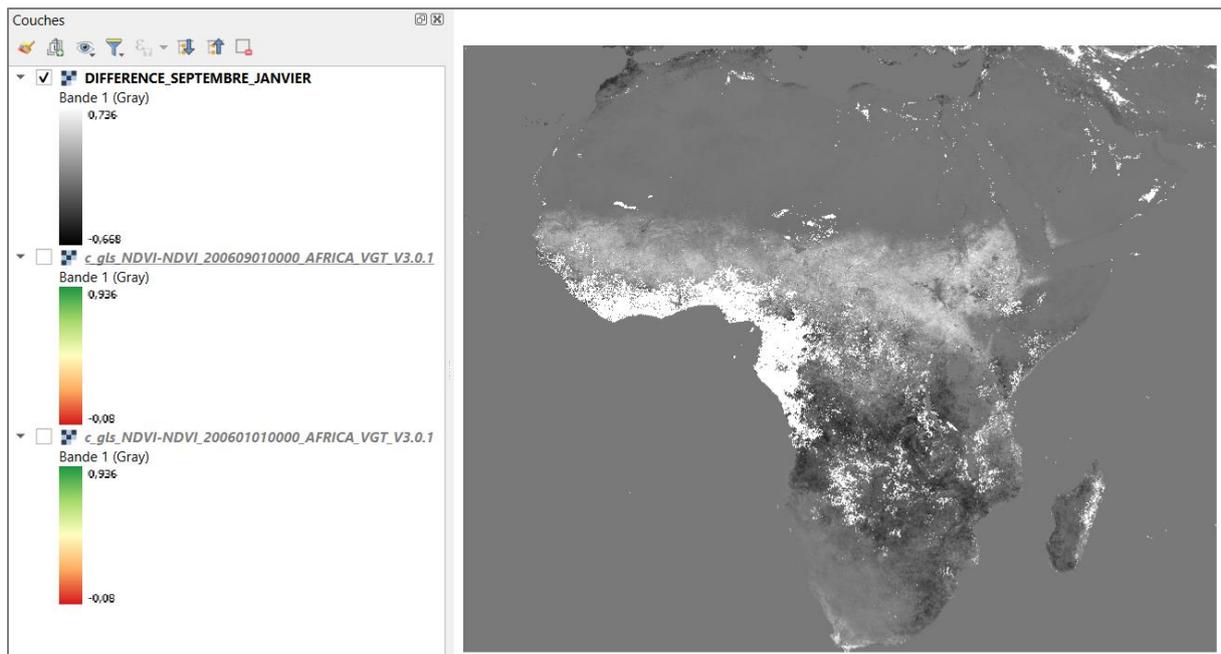
**Pour calculer une simple différence mathématique entre 2 images via la « Calculatrice Raster » de QGIS (Figure 32) :**

- Cliquez sur le menu « Raster > Raster Calculator... », ce qui ouvrira la « Calculatrice Raster »
- Paramétrez l'interface de la « Calculatrice Raster » comme indiqué à la Figure 32 en nommant votre raster en sortie « DIFFERENCE\_SEPTEMBRE\_JANVIER.tif »
- Cliquez sur « OK »



**Figure 32 : Utilisation de la « Calculatrice Raster » de QGIS pour réaliser la soustraction entre l'image NDVI de septembre 2006 et l'image NDVI de janvier 2006, pour le Mali.**

- Ajoutez manuellement le raster de changement « DIFFERENCE\_SEPTEMBRE\_JANVIER.tif » dans votre projet QGIS s'il ne s'est pas ajouté automatiquement.
- Visualisez-le brièvement (Figure 33). Sa visualisation sera améliorée ultérieurement (confer plus bas).



**Figure 33 : Raster de « Changement de NDVI » en dégradé de gris après calcul de la différence entre l'image de NDVI de septembre et l'image de NDVI de janvier.**

La différence réalisée à partir de pixels « sans donnée » (DN = 255) de l'une ou l'autre des 2 images utilisées en entrée résulte en pixels « sans donnée » dans l'image de changement, et sont transparents (blancs si aucune autre couche inférieure n'est activée).

Les pixels identifiés comme des pixels de mer ou de grande masse d'eau (uniquement présents sur l'image de l'ensemble de l'Afrique) dans les deux images de janvier et septembre présentent une valeur de 0 dans l'image de changement et apparaissent en gris.

Ce raster de « changement de NDVI » est améliorable de 2 manières :

- Via la **gestion des pixels ne correspondant pas à du NDVI** → Confer section 5.3.2 page 79.
- Via l'utilisation d'une **symbologie qui permet de plus facilement interpréter/comprendre les changements de NDVI identifiés** → Confer section 5.3.3 page 87.

### 5.3.2. Gestion des pixels ne correspondant pas à du NDVI

Attention ! Rappelons-nous que les pixels présentant des valeurs (DN) comprises entre 251 et 255 dans les 2 « images de NDVI » de départ n'expriment en fait pas une valeur de NDVI mais correspondent à des codes ayant les significations suivantes (confer Figure 24 page 62 (sous le tableau)):

- 251 : non déterminé
- 252 : non déterminé
- 253 : non déterminé
- 254 : pixel de mer ou de grande masse d'eau
- 255 : pixel sans donnée

Dans l'analyse ci-dessus, les pixels avec pour valeur 251 à 254 n'ont pas été exclus de l'analyse alors qu'ils auraient dû l'être. (Comme nous l'avons vu à la section précédente, les pixels de DN = 255 (sans donnée) ont déjà été pris en considération dans l'opération de différence et résultent en pixels « sans donnée ».) **En particulier, si un pixel présente une valeur comprise entre 251 et 254 dans l'une des 2 images de NDVI ou dans les 2 images NDVI, il convient de lui attribuer une valeur spécifique (nous lui attribuerons la valeur « sans donnée » dans ce cas-ci) dans l'image de « changement de NDVI » afin que l'on puisse facilement identifier ces pixels qui ne traduisent pas un changement de NDVI.**

Pour ce faire la méthode ci-dessous est proposée. Nombre d'autres méthodes pourraient être appliquées.

#### 5.3.2.1. Création d'un raster de masque binaire « 0-1-sans donnée »

La première étape consiste en la création d'un **masque ou raster binaire « 0-1-sans donnée »**, c'est-à-dire un raster dont les pixels prendront soit la valeur de 0, soit la valeur de 1, soit la valeur « sans donnée », avec la signification suivante :

- **1** identifie les pixels pour lesquels les 2 images de janvier et septembre présentent des **valeurs proportionnelles au NDVI (DN < 251)**.
- **0** identifie les pixels pour lesquels une des 2 images de janvier et septembre, ou les 2 images, ne présentent **ni des valeurs proportionnelles au NDVI, ni la valeur « sans donnée » (251 ≤ DN < 255)**.

- « **sans donnée** » identifie les pixels pour lesquels une des 2 images de janvier et septembre, ou les 2 images, présentent des pixels sans donnée (**DN = 255**)

**Remarque :**

- si DN = 251 => NDVI = 0.004 \* 251 - 0.08 => NDVI = 0.924
- si DN = 254 => NDVI = 0.004 \* 254 - 0.08 => NDVI = 0.936

Ce raster binaire de masque peut être facilement obtenu via la « Calculatrice raster » de QGIS :

- Cliquez sur le menu « Raster > Raster Calculator... », ce qui ouvrira la « Calculatrice Raster »
- Paramétrez l'interface de la « Calculatrice Raster » comme indiqué à la Figure 35 en nommant votre raster en sortie « **RASTER\_MASQUE\_BINAIRE\_0\_1.tif** ». La **formule** utilisée est la suivante :
  - **pour l'Afrique :**
    - "c\_gls\_NDVI-NDVI\_200601010000\_AFRICA\_VGT\_V3.0.1@1" < 0.924  
AND "c\_gls\_NDVI-NDVI\_200609010000\_AFRICA\_VGT\_V3.0.1@1" < 0.924
  - **pour le Mali :**
    - "c\_gls\_NDVI\_200601010000\_GLOBE\_VGT\_V3.0.1\_ML\_NDVI@1" < 251  
AND "c\_gls\_NDVI\_200609010000\_GLOBE\_VGT\_V3.0.1\_ML\_NDVI@1" < 251

Cette formule doit se comprendre comme suit, dans le cas du Mali :

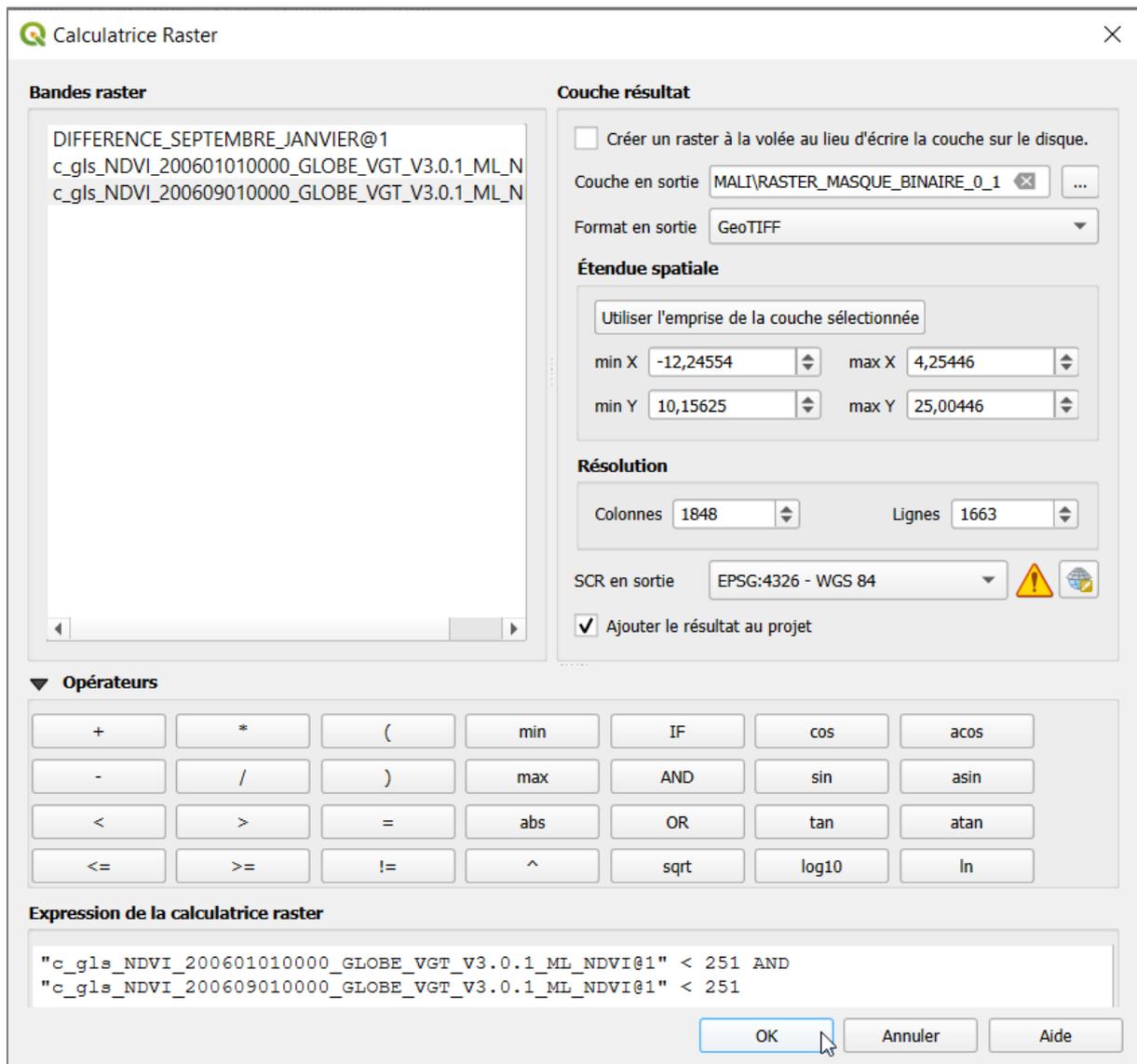
- "c\_gls\_NDVI\_200601010000\_GLOBE\_VGT\_V3.0.1\_ML\_NDVI@1" < 251: il s'agit d'un test logique qui doit se comprendre comme suit:
  - **Si la condition est rencontrée**, c'est-à-dire si la valeur du pixel dans l'image NDVI considérée est **strictement plus petite que 251** (valeur correspondant à du NDVI), alors le pixel prendra une valeur de **1**.
  - **Si la condition n'est pas rencontrée**, c'est-à-dire si la valeur du pixel dans l'image NDVI considérée est **plus grande ou égale à 251** (valeur ne correspondant pas à du NDVI), alors le pixel prendra une valeur de **0**.
  - **A cela se rajoute le fait que si le pixel dans l'image NDVI considérée est « sans donnée », avec une valeur de 255**, alors le pixel prendra la valeur de « sans donnée ».
- Le « **AND** » (en français : « ET ») est un **opérateur logique booléen** permettant de réaliser une comparaison entre 2 valeurs (0 ou 1) selon la logique reprise dans la Figure 34.

AND (ET)	OR (OU)
1 AND 1 = 1	1 OR 1 = 1
1 AND 0 = 0	1 OR 0 = 1
0 AND 1 = 0	0 OR 1 = 1
0 AND 0 = 0	0 OR 0 = 0

Figure 34 : Résultats des opérations booléennes « AND » (et) et « OR » (ou).

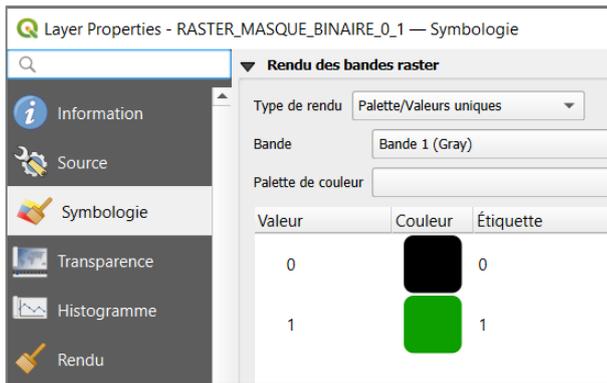
Le tableau ci-dessous reprend les 3 cas de figures possibles dans notre cas (sans prendre en considération les cas incluant une valeur de pixel de 255) avec des exemples de valeurs de pixels et les résultats qui en découlent.

3 cas de figure possibles (sans prendre en considération les cas incluant une valeur de pixel de 255)	Exemple de valeurs dans la formule de création du raster binaire		Résultat intermédiaire	Résultat final
	AFRIQUE	MALI		
	Raster_Janvier < 0.924 AND Raster_Septembre < 0.924	Raster_Janvier < 251 AND Raster_Septembre < 251		
Les valeurs des pixels correspondent à du NDVI dans les 2 images	0.32 < 0.924 AND 0.72 < 0.924	45 < 251 AND 62 < 251	1 AND 1	1
Les valeurs des pixels correspondent à du NDVI dans une seule image et pas dans l'autre	0.32 < 0.924 AND 0.936 < 0.924	45 < 251 AND 254 < 251	1 AND 0	0
	0.924 < 0.924 AND 0.72 < 0.924	251 < 251 AND 62 < 251	0 AND 1	0
Les valeurs des pixels ne correspondent pas à du NDVI, dans aucune des 2 images	0.924 < 0.924 AND 0.936 < 0.924	251 < 251 AND 254 < 251	0 AND 0	0

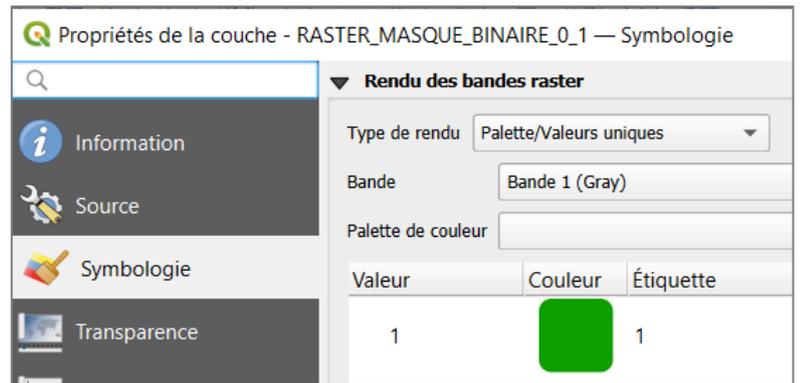


**Figure 35 : Création d'un raster de masque binaire 0-1-sans donnée, pour le Mali, via la « Calculatrice raster » de QGIS**

- Ajoutez manuellement le raster de masque « RASTER\_MASQUE\_BINAIRE\_0\_1.tif » dans votre projet QGIS s'il ne s'est pas ajouté automatiquement.
- Modifiez sa symbologie pour obtenir un résultat similaire à ce qui est présenté en Figure 36, via la symbologie de type « Palette/Valeurs uniques ».



AFRIQUE



MALI (pas de pixel de mer ou de grande masse d'eau)

- Visualisez-le brièvement (Figure 36)
- Légende du raster de masque binaire ci-dessous.
  - En vert (valeur de 1) les pixels présentant une valeur de DN < 251 (NDVI < 0.924) dans les 2 images de janvier et septembre.
  - En noir (valeur de 0) les pixels présentant un DN compris entre [251 et 254] dans une des 2, ou dans les 2 images de départ, hors pixels sans donnée.
  - En blanc (valeur « sans donnée ») les pixels sans données dans une des 2, ou dans les 2 images de départ.

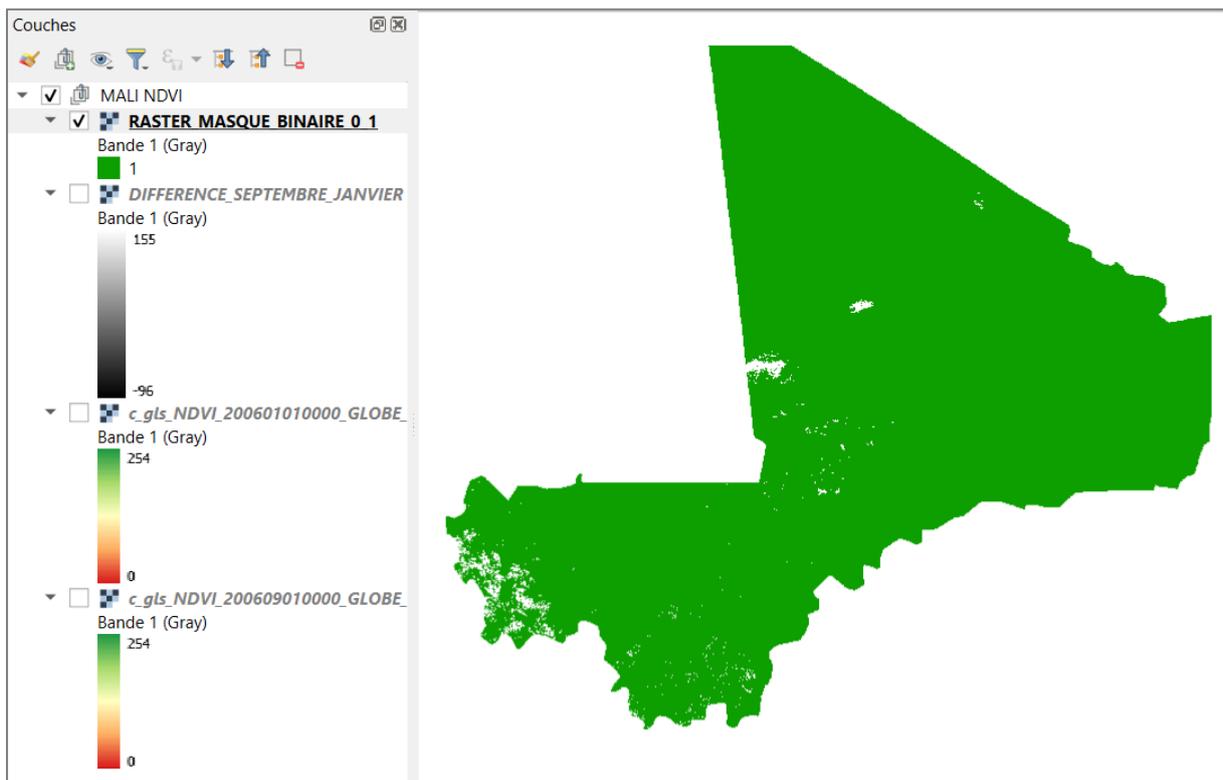
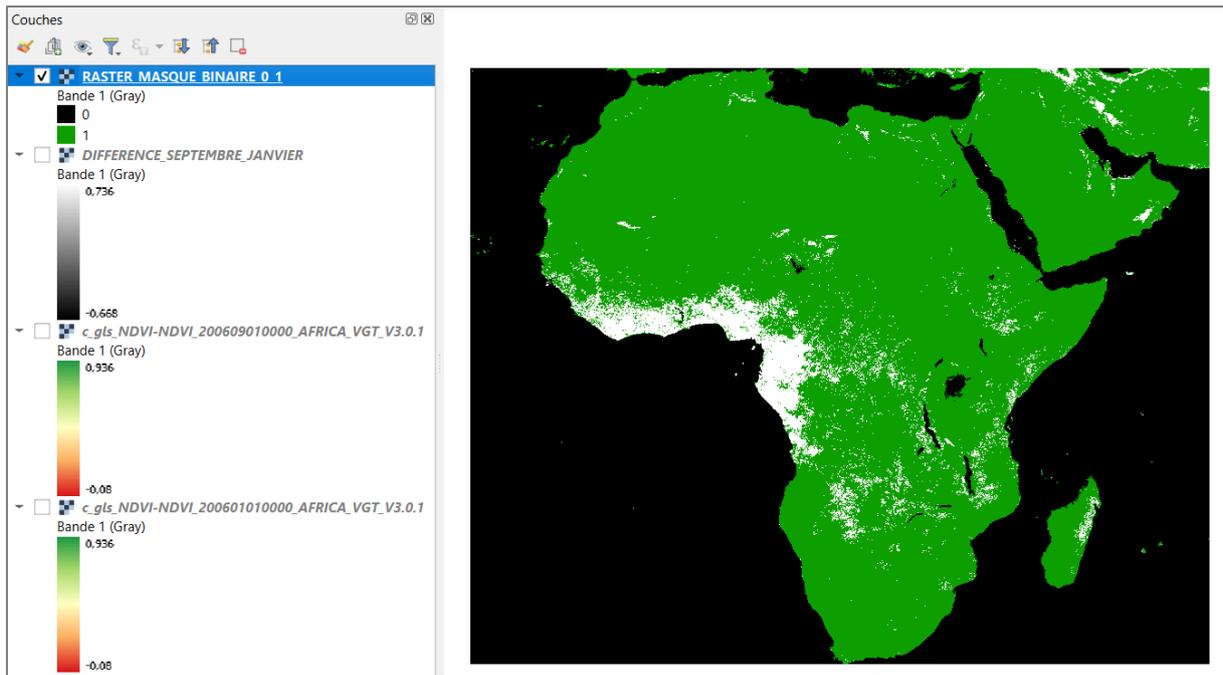


Figure 36 : Raster de masque binaire 0-1-sans donnée (légende, confer texte ci-dessus)

### 5.3.2.2. Masquage de l'image de changement de NDVI par le raster de masque binaire 0-1-sans donnée

La deuxième étape consiste en l'application du raster de masque binaire 0-1-sans donnée créé à l'étape précédente sur le raster de « changement de NDVI » pour produire un nouveau raster de changement de NDVI pour lequel :

- Les pixels correspondant à du NDVI dans les 2 images de départ conserveront leur valeur de changement de NDVI
- Les pixels ne correspondant pas à du NDVI dans une des deux, ou dans les deux images NDVI de départ seront identifiés par le code « sans donnée ».

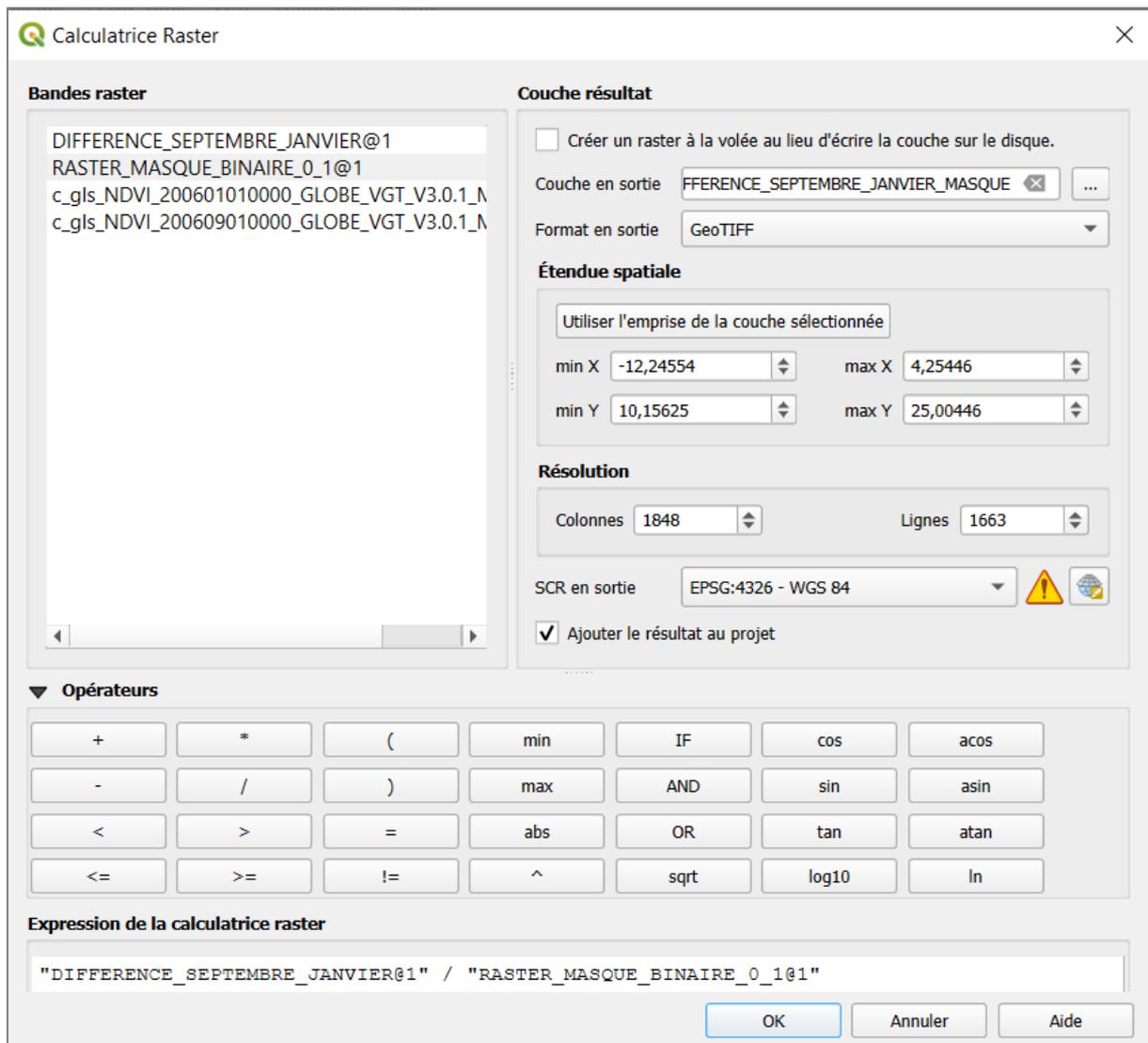
Cette étape peut être vue comme un **masquage** du raster de « changement de NDVI » par le raster de masque binaire 0-1-sans donnée.

Il suffit pour se faire de **diviser le raster de « changement de NDVI » par le raster de masque binaire 0-1-sans donnée** via la « Calculatrice raster » de QGIS :

- Cliquez sur le menu « Raster > Raster Calculator... », ce qui ouvrira la « Calculatrice Raster »
- Paramétrez l'interface de la « Calculatrice Raster » comme indiqué à la Figure 37 en nommant votre raster en sortie « **DIFFERENCE\_SEPTEMBRE\_JANVIER\_MASQUE.tif** »
- La **formule** utilisée est la suivante : "DIFFERENCE\_SEPTEMBRE\_JANVIER@1" / "RASTER\_MASQUE\_BINAIRE\_0\_1@1"

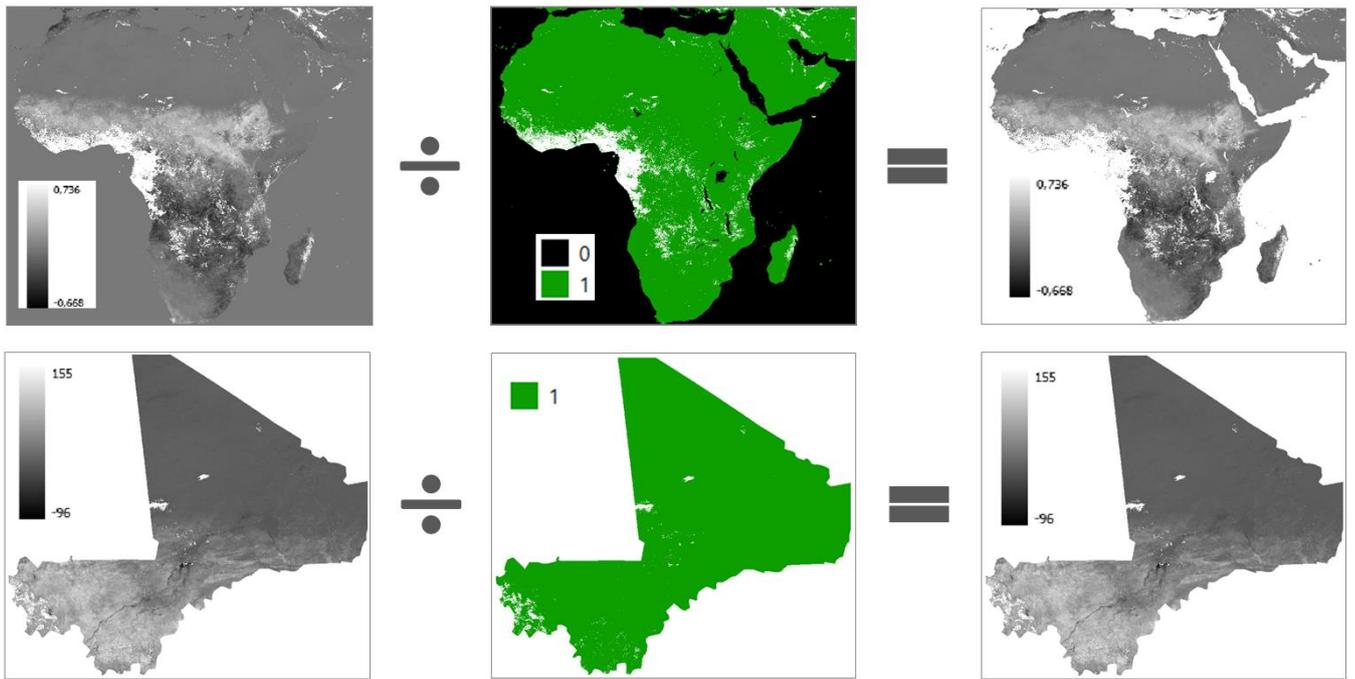
Cette formule aura les effets suivants :

- Valeurs de changement de NDVI / 1 = Valeurs de changement de NDVI conservées
- Valeur autre / 0 = sans donnée (car il n'est pas possible de diviser par 0)
- Toute valeur / sans donnée = sans donnée



**Figure 37 : Division du raster de changement par le raster binaire 0 1 dans la « Calculatrice raster » de QGIS, pour le Mali**

- Ajoutez manuellement le raster de changement de NDVI masqué « DIFFERENCE\_SEPTEMBRE\_JANVIER\_MASQUE.tif » dans votre projet QGIS s'il ne s'est pas ajouté automatiquement.
- Visualisez-le brièvement (Figure 38 à droite)



**Figure 38 : Masquage de l'image de changement de NDVI (à gauche) par le raster de masque binaire 0-1-sans donnée (au centre) via une division dans la « Calculatrice raster » de QGIS et raster masqué résultant (à droite) avec les pixels ne traduisant pas un changement de NDVI prenant la valeur « sans donnée » et une couleur transparente.**

Dans le raster masqué, les pixels ne traduisant pas un changement de NDVI prennent :

- la valeur « **sans donnée** » (en français : « sans donnée ») : vous pouvez le vérifier via l'outil « Identifier des entités » 
- une **couleur transparente** : attention ! Si une autre couche est activée/cochée/visible et positionnée en-dessous du raster masqué dans le panneau « Couches » de QGIS, c'est cette autre couche qui sera visible à l'endroit des pixels transparents du raster masqué. Pour visualiser correctement le raster masqué, il vaut donc mieux **décocher toutes les autres couches** de votre projet QGIS.

### 5.3.3. Choix d'une symbologie appropriée

La représentation de l'image de changement en **dégradé de gris** (Figure 38-droite) n'est pas facile à interpréter. En effet, pour une large gamme de valeurs de gris, il est difficile de leur attribuer une signification précise en termes de changement de NDVI ou changement de conditions de végétation. La symbologie de l'image de changement doit donc être changée pour en faciliter l'interprétation.

Pour à la fois conserver l'image en dégradé de gris dans le projet QGIS et produire une représentation colorée de cette image, il est possible de simplement **dupliquer la couche** de changement dans le panneau « Couches », comme indiqué ci-dessous :

### Pour dupliquer une couche raster :

- Cliquez-droit sur l'image de changement > Dupliquer la couche

Attention, le **choix de la palette de couleurs** de l'image de changement est très important dans ce cas-ci. Une palette de couleurs tri-couleur conviendra parfaitement pour représenter les valeurs de changement. Il faudra veiller en particulier à :

- ce que les couleurs choisies soient **interprétables intuitivement** : dans ce cas-ci
  - Une **couleur rouge** sera associée à une **diminution** des valeurs de NDVI entre janvier et septembre, c'est-à-dire une **dégradation** des conditions de végétation (pixels de l'image de changement ayant des valeurs **négatives**)
  - Une **couleur verte** sera associée à une **augmentation** des valeurs de NDVI entre janvier et septembre, c'est-à-dire une **amélioration** des conditions de végétation (pixels de l'image de changement ayant des valeurs **positives**)
  - Une **couleur jaune** sera associée à une **stabilité** des valeurs de NDVI entre janvier et septembre, c'est-à-dire une **stabilité** des conditions de végétation (absence de changement, pixels de l'image de changement ayant une valeur **aux alentours de 0**)
- ce que la palette contienne une **couleur centrale** (symbologie symétrique autour de 0) **facilement identifiable** (jaune dans ce cas-ci) qui permettra de facilement différencier les zones présentant une amélioration ou une dégradation des conditions de végétation. Typiquement un dégradé bicolor (noir à blanc par exemple) ne conviendra pas.

### Pour choisir une palette de couleurs appropriée :

- Cliquez-droit sur l'image de changement dupliquée > Propriétés... > Symbologie > Rendu des bandes raster > Type de rendu > Pseudo-couleur à bande unique
- Choisissez un dégradé de couleur adapté pour représenter les changements de NDVI, comme indiqué par exemple à la Figure 39 (dégradé de couleur « RdYIGn » par exemple).

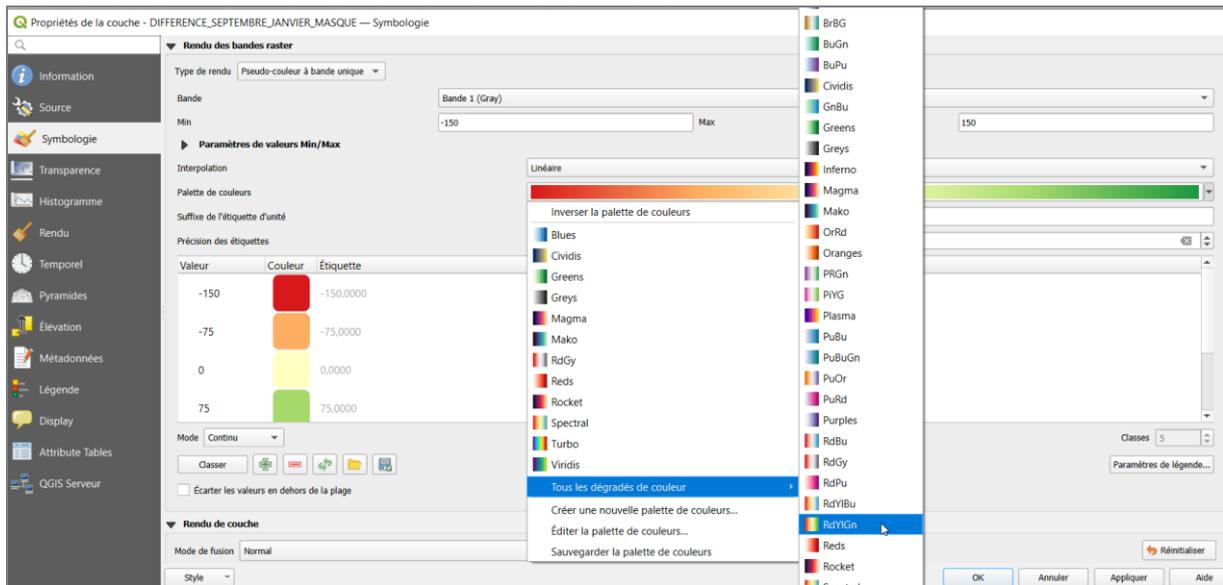
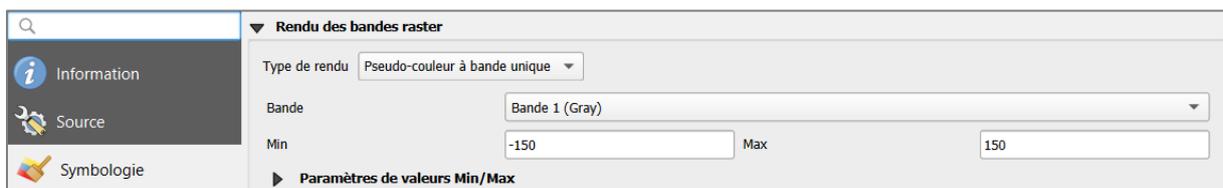
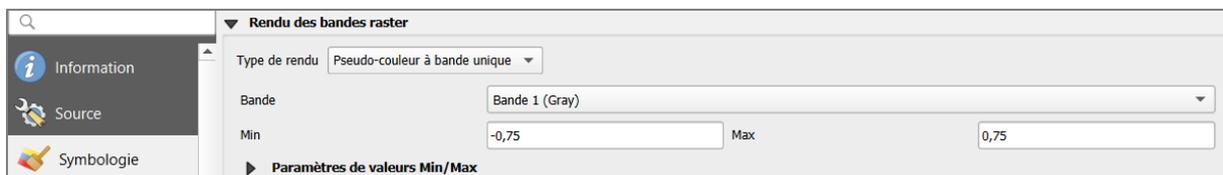


Figure 39 : Choix d'une symbologie adaptée (dégradé de couleur « RdYlGn ») pour visualiser l'image de changement de NDVI, pour le Mali.

**! Pour obtenir une palette de couleurs avec une couleur centrale facilement identifiable et correspondant à l'absence de changement :**

- Modifiez les bornes Min et / ou Max de la symbologie pour que ces bornes soient symétriques autour de 0, dans l'illustration ci-dessous :
  - **Pour l'Afrique** : -0.75 à +0.75 (valeurs de NDVI)
  - **Pour le Mali** : -150 à +150 (valeurs de DN)

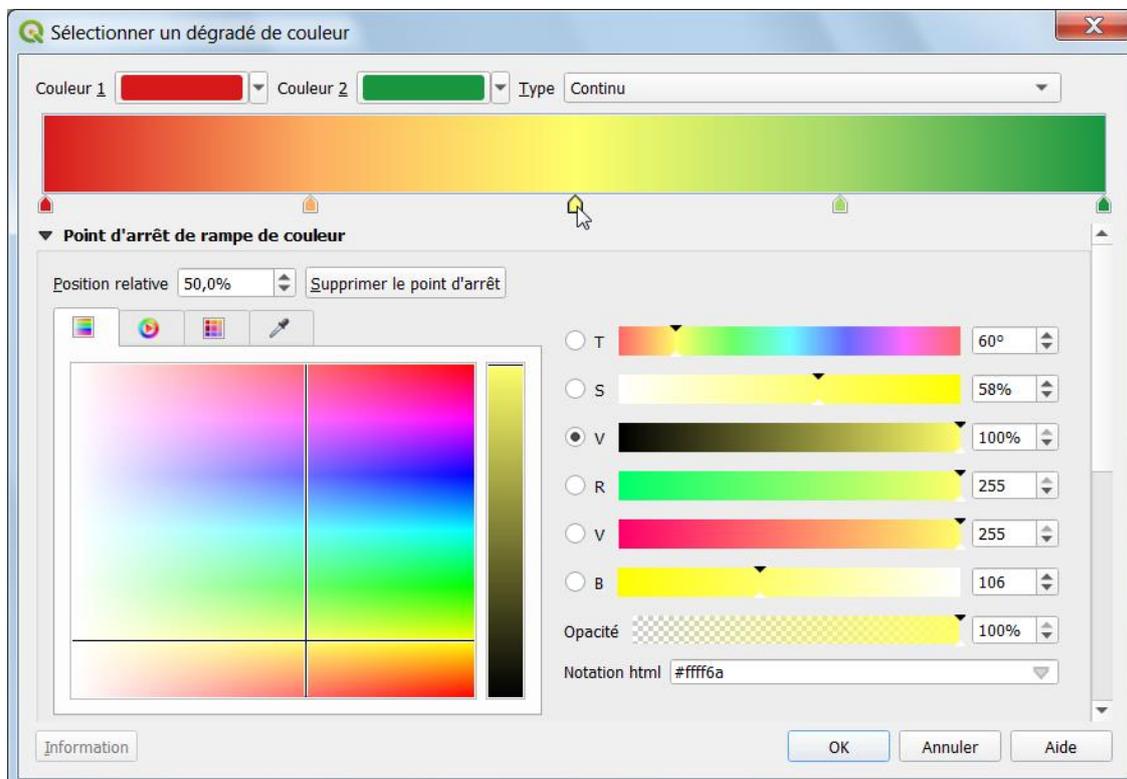


### Modification d'une « Palette de couleurs »

- **Modifiez** éventuellement cette palette de couleur selon votre souhait. Dans ce cas-ci la couleur centrale par défaut a été remplacée par un jaune un peu plus vif afin de mieux différencier les pixels présentant un changement de NDVI nul ou faible des pixels ne représentant pas un changement de NDVI (« sans donnée » transparent apparaissant en blanc si le background est blanc). Pour ce faire :
  - Cliquez-gauche sur la « Palette de couleurs » sélectionnée dans la fenêtre des propriétés de la couche > Symbologie de la couche



- Modifiez la palette de couleur comme souhaité via la fenêtre qui s'ouvre « Sélectionner un dégradé de couleur » (Figure 40).



**Figure 40 : Modification de la couleur centrale de la « Palette de couleurs RdYIGn » par un jaune plus vif**

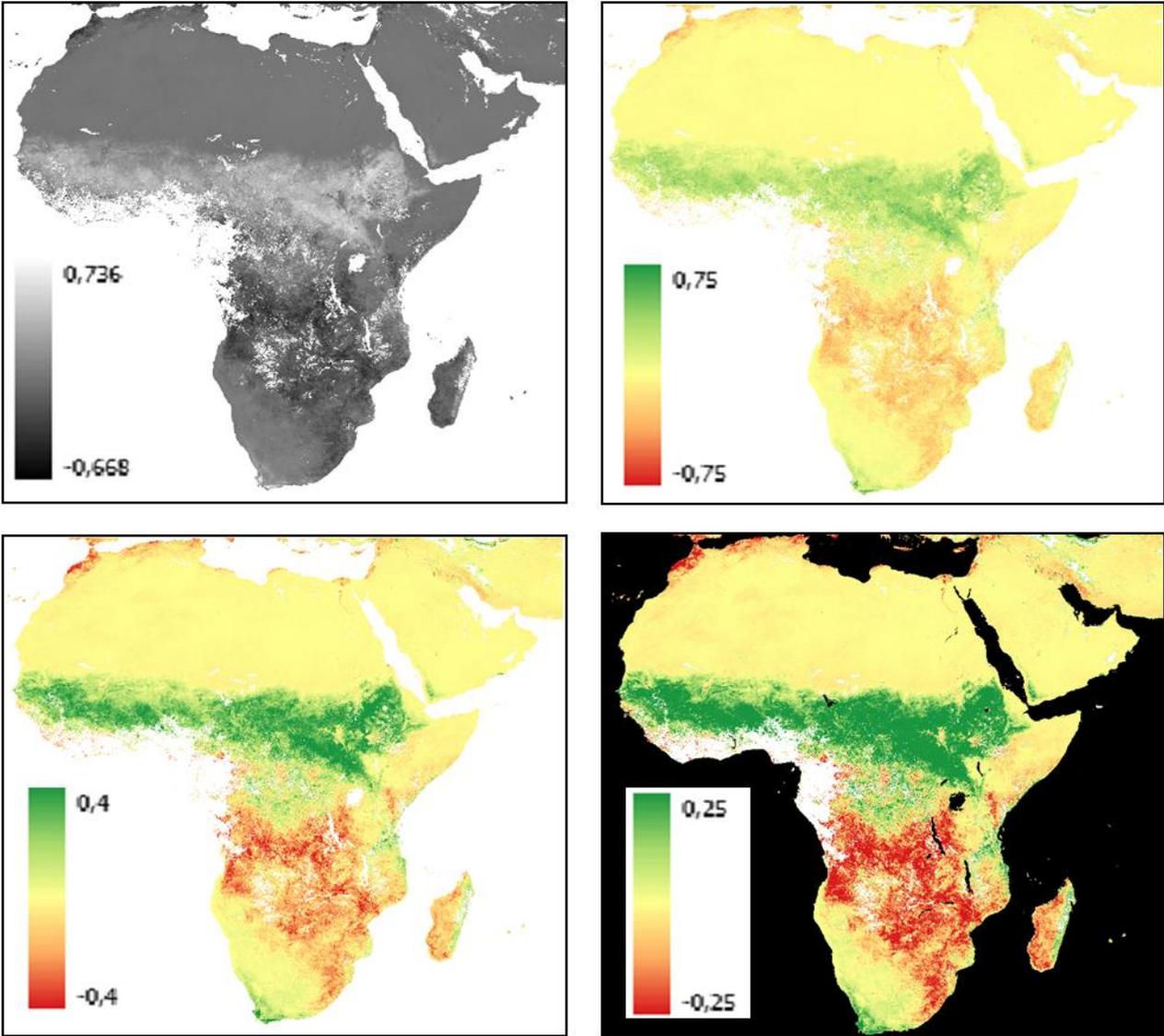
### Amélioration de contraste

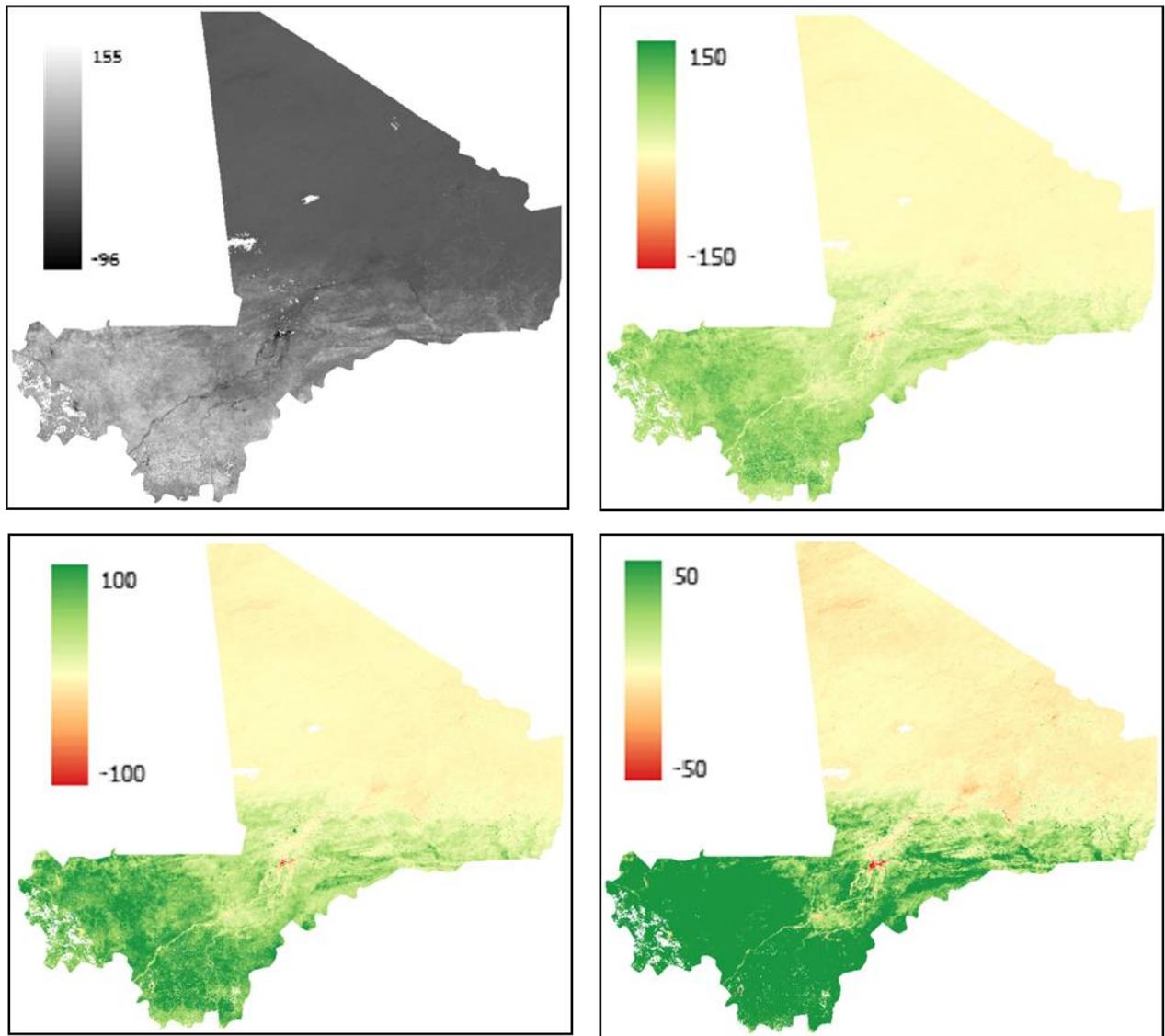
Enfin, il peut être souhaitable de réaliser une **amélioration de contraste** (quelques exemples sont donnés à la Figure 41) afin de mieux faire ressortir les différents classes de changement de NDVI. Ceci peut se faire via :

- Clic-droit sur l'image de changement dupliquée > Propriétés... > Symbologie > Rendu des bandes raster > Paramètres « Min » et « Max » (Figure 39) à **définir de manière symétrique autour de 0 si vous voulez que la couleur centrale de la palette corresponde à un changement de NDVI nul.**

Au plus les valeurs des bornes inférieure et supérieure (paramètres « Min » et « Max ») de la « Palette de couleurs » seront resserrées autour de 0, au moins la représentation colorée sera nuancée étant donné que tous les pixels ayant des valeurs inférieures/supérieures aux paramètres « Min »/« Max » prendront la couleur correspondant à la borne inférieure/supérieure de la « Palette de couleurs » respectivement, comme illustré à la

Figure 41. A vous de choisir la représentation qui vous semble être la plus adaptée à vos objectifs de représentation et d 'analyse.





**Figure 41 : Image de changement du NDVI entre janvier 2006 et septembre 2006, en dégradé de gris et dégradés colorés utilisant différentes améliorations de contraste via l'utilisation des paramètres « Min » et « Max » des propriétés de symbologie de la couche. L'image en bas à droite pour l'Afrique utilise comme background le raster de masque binaire 0-1-sans donnée avec la couleur noire correspondant aux pixels masqués, et la couleur blanche correspondant aux pixels sans donnée.**

L'image de changement affichée avec une palette de couleurs appropriée (Figure 41, images colorées) est facilement interprétable et le lien avec les conditions climatiques évident, comme déjà interprété dans la section 5.2 page 68.

## 6. Analyse de séries temporelles d'images sur bases d'applications web

<b>Objectifs pédagogiques</b>	Découvrir diverses <b>applications web</b> basées sur la télédétection et comment ces applications peuvent être utiles pour réaliser une analyse d'une <b>série temporelle d'images satellites</b> .
<b>Données &amp; Projet QGIS!</b>	<p>Les données nécessaires à la réalisation de cet exercice sont disponibles dans le dossier « ...\<b>3_SERIE_TEMPORELLE_APPLI_WEB</b>\... » (~ 44 MB).</p> <p>Téléchargez ce dossier sur votre ordinateur en local dans votre répertoire de travail et décompressez-le. ATTENTION ! Voyez la section 1.2 page 19 pour plus d'information sur l'accès aux données.</p> <p><b>Projet QGIS</b> : « <b>SERIE_TEMPORELLE_APPLI_WEB.qgz</b> » situé dans le sous-dossier « QGIS ». Ce projet ne sera utilisé que très rapidement, pour la première partie de cet exercice.</p>
<b>Logiciel ou application</b>	<b>QGIS 3.10 ou supérieur</b> ( <a href="https://www.qgis.org/fr/site/forusers/download.html">https://www.qgis.org/fr/site/forusers/download.html</a> ).
<b>Temps approximatif</b>	~ 1h30
<b>Prérequis</b>	Aucun.
<b>Consignes de départ</b>	Confer la « Contextualisation » reprise ci-après

## Contextualisation\*

**Production de médias mettant en évidence la déforestation à partir de séries temporelles d'images satellites disponibles sur des applications web basées sur la télédétection.**

Un peuple d'indiens d'Amazonie, les Arumbayas, dans l'Etat de Rondônia au Brésil, voit chaque jour leur forêt détruite un peu plus, destruction qui s'est accélérée récemment suite à l'accession à la présidence du Brésil de Jair Bolsonaro le 1<sup>er</sup> janvier 2019.

Les Arumbayas aimeraient sensibiliser l'opinion nationale et internationale à la problématique rencontrée sur leur territoire afin d'en stopper la destruction.

En tant que géographe fraîchement diplômé, et sensibilisé à leur cause, vous proposez de les aider via la création d'un ou plusieurs médias qui mettront en évidence la gravité et l'urgence de la situation à partir de l'analyse d'images satellites.

Les Arumbayas ont identifié le périmètre de leur territoire grâce à un GPS reçu de la part d'activistes de l'ONG « Treepeace ». Ce territoire est repris dans le shapefile « **Paraiso\_verde.shp** » et dans le fichier KML « **PARAISO\_VERDE.KML** ».

Face à l'urgence de la situation, le délai de réalisation est assez court et vous décidez d'utiliser les **applications web** existantes plutôt que de vous lancer dans un travail fastidieux de téléchargement et traitement en local des images satellites.

Vous testerez les différentes applications présentées ci-dessous et comparerez leurs qualités, défauts, avantages et inconvénients.

Vous pourrez montrer à la fois **l'évolution historique** (sur plusieurs années ou décennies) et **l'évolution très récente** (derniers mois ou années récentes)!

Parmi les médias potentiels à produire :

- **Images satellites de la zone montrant la situation (capture d'écran,...)**
- **Animation de type « Timelapse » montrant l'évolution de la situation**
- **Graphique de l'évolution temporelle de la végétation**

\* Cette contextualisation s'inspire de faits réels mais ne se veut pas véridique.

## 6.1. « QuickMapServices » (QMS) via QGIS

A l'aide des indications ci-dessous, installez « QGIS » sur votre ordinateur si ce n'est pas encore fait et utilisez l'extension « QuickMapServices » (QMS) pour consulter une image satellite de très haute résolution spatiale sur la zone d'étude de « Paraiso Verde ». (~ 10 minutes)

QGIS n'est pas une application web mais un logiciel à installer sur votre ordinateur. Une fois installé, il permet d'accéder facilement, dans une interface SIG, à une série de données en lignes, dont des images satellites très hautes résolutions spatiales, via différents services web dont le service « QuickMapServices » qui est utilisé dans cette section.

! QGIS doit être installé sur votre ordinateur pour cette section. QGIS est disponible ici <https://qgis.org/en/site/>.

**Ouverture du projet QGIS** préalablement préparé pour vous :

- Ouvrez le projet QGIS disponible dans le répertoire « \3\_SERIE\_TEMPORELLE\_APPLI\_WEB\QGIS\SERIE\_TEMPORELLE\_APPLI\_WEB.qgz » et contenant le fichier shapefile « Paraiso\_verde.shp » afin de localiser rapidement où se situe le territoire étudié.
- Pour trouver la zone d'étude, faites un clic droit sur la couche « Paraiso\_verde.shp » dans le panneau « Couches » > Zoomer sur la couche.

**Installation de l'extension « QuickMapServices » (QMS) dans QGIS :**

- Si ce n'est pas encore fait, dans votre interface QGIS, **installez l'extension « QuickMapServices »** via le Menu Extension > Installer / Gérer les extensions
- Après l'installation de base de QMS, **ajoutez les services supplémentaires de QMS** via le menu « Internet > QuickMapServices > Settings > More > Get contributed pack »

**Utilisation de l'extension « QuickMapServices » et analyse**

- Ajoutez le fond de carte « Google Satellite » à votre projet QGIS via le menu « Internet > QuickMapServices > Google > Google Satellite »
- Analysez visuellement le territoire de « Paraiso Verde ». Pensez-vous pouvoir produire un média intéressant via l'interface QGIS ?

**Avantages de QMS :**

- Très haute résolution spatiale → Très haut niveau de détail visible

- Accessible directement dans QGIS et donc facilement comparable avec des données géographiques personnelles préalablement disponibles dans un projet QGIS

### Désavantages de QMS :

- Vue statique sans information sur la date des images satellites disponibles
- Pas d'accès à une série temporelle d'images qui pourraient montrer l'évolution de l'occupation du sol dans la zone

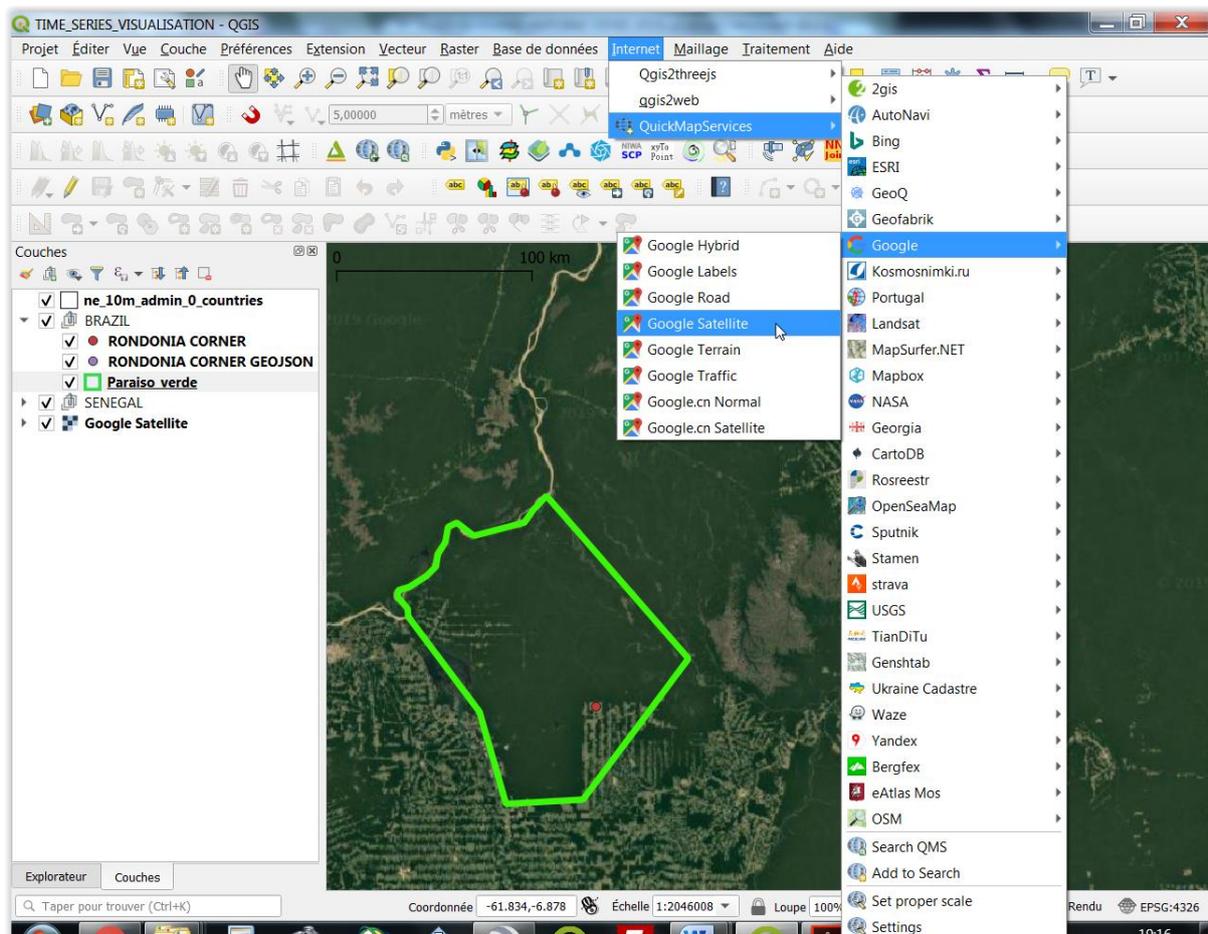


Figure 42 : Ajout du fond de carte « Google Satellite » via l'extension « QuickMapServices » dans un projet QGIS et visualisation de la zone d'étude de « Paraiso Verde » dans l'Etat de Rondônia au Brésil. Les « couloirs » de déforestation sont très visibles sous la forme de motifs linéaires gris-brun, le vert correspondant à la forêt.

## 6.2. Google Earth Pro Desktop

A l'aide des indications ci-dessous, installez « Google Earth Pro » sur votre ordinateur si ce n'est pas encore fait et utilisez cette application pour consulter les images satellites d'archives disponibles sur la zone d'étude de « Paraiso Verde ». (~ 10 minutes)

« Google Earth Pro » permet d'afficher des **images satellites d'archive**, ce qui permet de se faire une idée de la dynamique de l'occupation du sol dans une région.

### Installation de « Google Earth Pro »

- ! Google Earth Pro doit être installé sur votre ordinateur pour cette section : Google Earth Pro est disponible ici : [https://www.google.be/intl/fr\\_ALL/earth/versions/#earth-pro](https://www.google.be/intl/fr_ALL/earth/versions/#earth-pro).
- Google Earth Pro nécessite une connexion à internet pour fonctionner correctement et accéder aux images satellites d'archives notamment.

### Utilisation de « Google Earth Pro » sur la zone d'étude de « Paraiso Verde »

- Double-cliquez sur le fichier KML « \3\_SERIE\_TEMPORELLE\_APPLI\_WEB\PARAISO\_VERDE.kml ». Cela ouvrira automatiquement, après quelques secondes, Google Earth Pro sur la zone de « Paraiso Verde ».

Par défaut, Google Earth Pro présente le même fond de carte que celui utilisé via l'extension « QuickMapServices » dans QGIS ci-dessus.

- Affichez l'**outil « Afficher des images d'archive »** est disponible comme illustré à la Figure 43 :

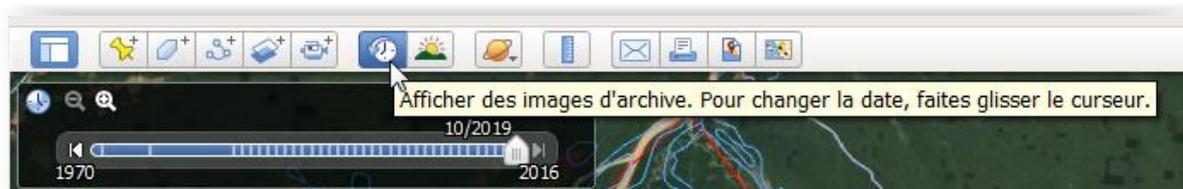


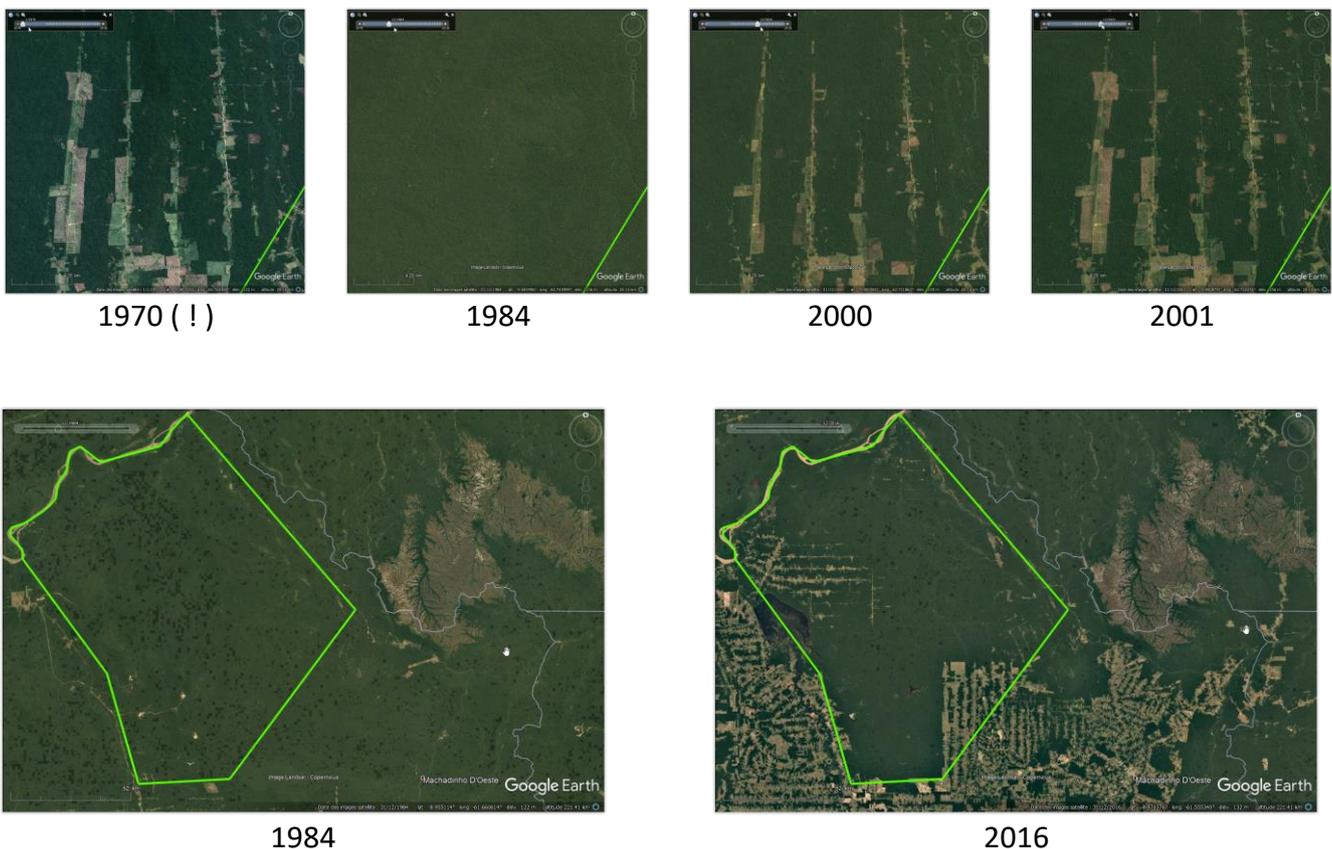
Figure 43 : Outil « Afficher des images d'archive » de « Google Earth Pro »

Notez que les images d'archives disponibles à l'affichage varient en fonction du niveau de zoom. A partir d'une échelle d'approximativement 1/80 000 en dé-zoomant (zoom out), des images annuelles sans nuage sont disponibles de 1984 à 2016. Ce sont probablement essentiellement des images LANDSAT (information non vérifiée). Sur la zone, la plus ancienne image semble remonter à 1970. En zoomant à une échelle supérieure à 1/80 000 (zoom in), d'autres images, souvent de plus hautes résolutions spatiales, apparaissent dans la liste des images d'archive.

- Passez en revue les images disponibles sur la zone d'étude afin de vous faire une idée de la dynamique d'occupation du sol dans la région (Figure 44).

### Cette évolution vous paraît-elle normale ?

Réponse : attention ! Les images affichées pour 1970 et 1975 datent en fait de 2001, même lorsque l'on zoom sur une toute petite zone ! Il semble donc y avoir une erreur dans Google Earth à ce niveau ! Confer série d'images ci-dessous !



**Figure 44 : Images satellites d'archive sélectionnées pour quelques dates et affichées dans Google Earth Pro sur la zone d'étude de « Paraiso Verde » dans l'Etat de Rondônia au Brésil. Les « couloirs » de déforestation sont très visibles sous la forme de motifs linéaires gris-brun, le vert correspondant à la forêt.**

Pensez-vous pouvoir produire un média intéressant via cet outil ?

Cet outil à l'avantage de pouvoir montrer la **dynamique de l'évolution de l'occupation du sol** dans la région. Une série de capture d'écran pourraient être faites puis assemblées en une animation par exemple.

Pour information, **une animation** (image animée GIF) peut facilement être réalisée dans le logiciel gratuit **GIMP** (<https://www.gimp.org/>) à partir d'une série d'images. Un exemple d'animation a été créé avec 4 images de la zone (1984, 2001, 2008, 2016) et est disponible dans le dossier « \3\_SERIE\_TEMPORELLE\_APPLI\_WEB\GIMP\_ANIMATION\_GIF\ » pour créer ce type d'animation :

- Ajouter et ordonner chronologiquement les images dans GIMP (la plus récente au-dessus)
- File > Export as > et donner un nom de fichier avec l'extension .GIF
- Export > As animation + loop forever + paramétrer le temps d'affichage d'une image de la série (par exemple : 500 ms) > Export
- Le résultat est le fichier GIF « \3\_SERIE\_TEMPORELLE\_APPLI\_WEB\GIMP\_ANIMATION\_GIF\GOOGLE EARTH PRO PARAISSO VERDE 1984 2001 2008 2016.gif » qui s'ouvrira comme animation dans un navigateur web.

## 6.3. Google EarthEngine Timelapse

A l'aide des indications ci-dessous, découvrez l'application « Google EarthEngine Timelapse » et utilisez-la pour découvrir une animation de l'évolution de l'occupation du sol à partir d'images satellites sur la zone d'étude de « Paraiso Verde ». (~ 10 minutes)

### Découverte de “Google EarthEngine Timelapse”

“Google EarthEngine Timelapse” est une « vidéo mondiale zoomable » qui permet de visualiser l'évolution de l'occupation du sol de la planète pendant ces 35 dernières années (1984 - 2018) à l'aide d'une couverture mondiale annuelle sans nuage d'images satellites (Landsat, Sentinel 2, ~15 millions d'images satellites utilisées). Cette application a été réalisée dans le « Google Earth Engine's cloud computing model ».

“Google EarthEngine Timelapse” est accessible à l'adresse

- <https://earthengine.google.com/timelapse/>

Une série d'exemples bien connus d'évolution impressionnante de l'occupation du sol sont présentés dans le panneau latéral de gauche, dont la déforestation massive au Brésil dans l'Etat de Rondônia où se situe Paraiso Verde.

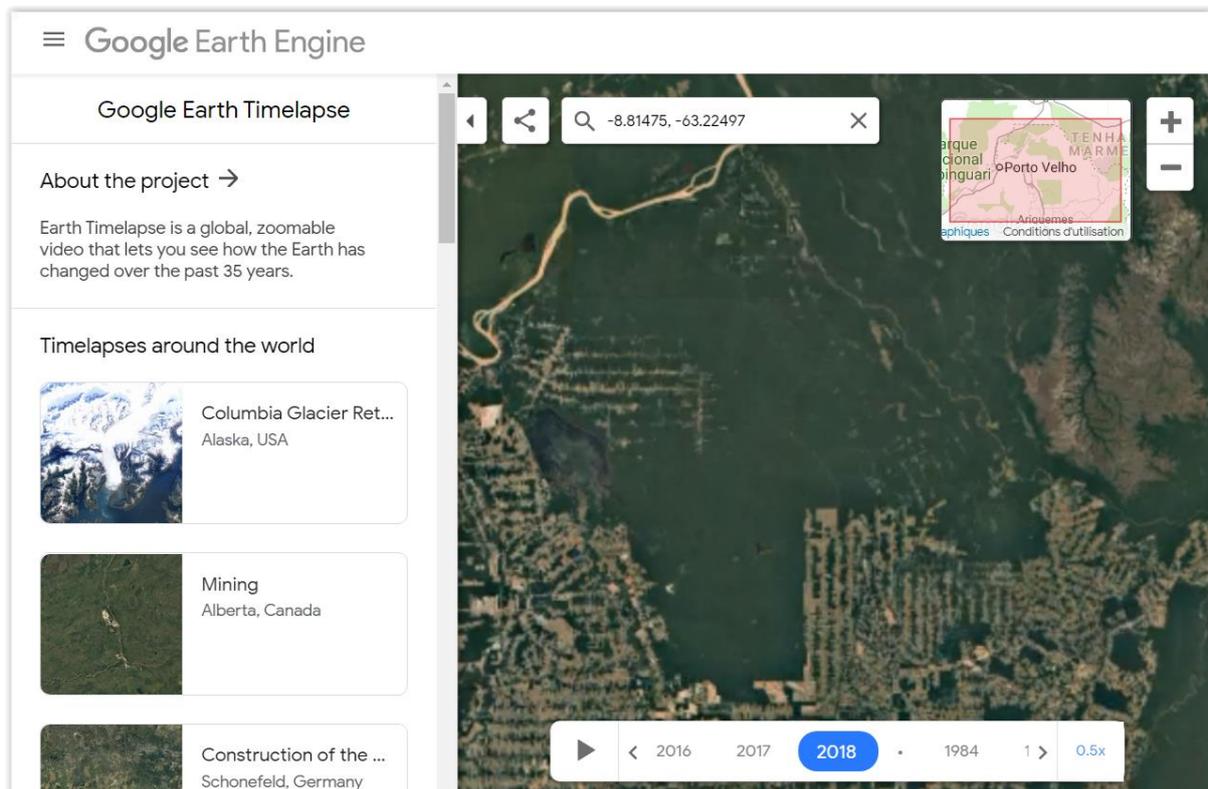
- Explorez quelques exemples à votre guise, selon votre intérêt (déforestation, mine, développement urbain, fonte de glacier, assèchement de la mer d'Aral, irrigation, feux, modification du lit de fleuves, etc). Il faut parfois un peu de temps avant que les images ne soient nettes.

En plus de ces exemples bien connus, cette vidéo est disponible pour tout endroit de la planète.

### Utilisation de “Google EarthEngine Timelapse” sur la zone d'étude de « Paraiso Verde » (Figure 45):

- Zoomez donc sur le « Paraiso Verde », dans le Nord de l'Etat de Rondônia.
- Ou utilisez ce Le lien web qui vous amènera directement sur la zone d'étude :
  - <https://earthengine.google.com/timelapse#v=-8.81475,-63.22497,7.533,latLng&t=3.43&ps=50&bt=19840101&et=20181231&startDwell=0&endDwell=0>

Remarquez que le bouton « Share »  permet d'exporter la vidéo courante dans un format web et donc de la partager facilement.



**Figure 45 : Aperçu de l'application "Google EarthEngine Timelapse" pour la zone d'étude de « Paraiso Verde » dans l'Etat de Rondônia au Brésil. Les « couloirs » de déforestation sont très visibles sous la forme de motifs linéaires gris-brun, le vert correspondant à la forêt.**

Pensez-vous pouvoir produire un média intéressant via cet outil ?

**Avantage de "Google EarthEngine Timelapse":**

- Facile d'utilisation, vidéos/animations prêtes à l'emploi

**Désavantages de "Google EarthEngine Timelapse":**

- Limité à 2018 au moment de rédiger ces lignes
- Qualité de l'image variable (dépendante de votre ordinateur et/ou qualité de votre connexion internet probablement)
- Pas de possibilité de superposer les limites du territoire étudié

## 6.4. Global Forest Change par « University of MARYLAND »

A l'aide des indications ci-dessous, découvrez l'application « Global Forest Change » et utilisez-la pour découvrir l'évolution de la couverture forestière sur la zone d'étude de « Paraiso Verde ». (~ 10 minutes)

Un autre portail notable, aussi basé sur l'outil Google Earth Engine, est le portail « Global Forest Change » développé par la « University of MARYLAND » (Figure 46), disponible ici :

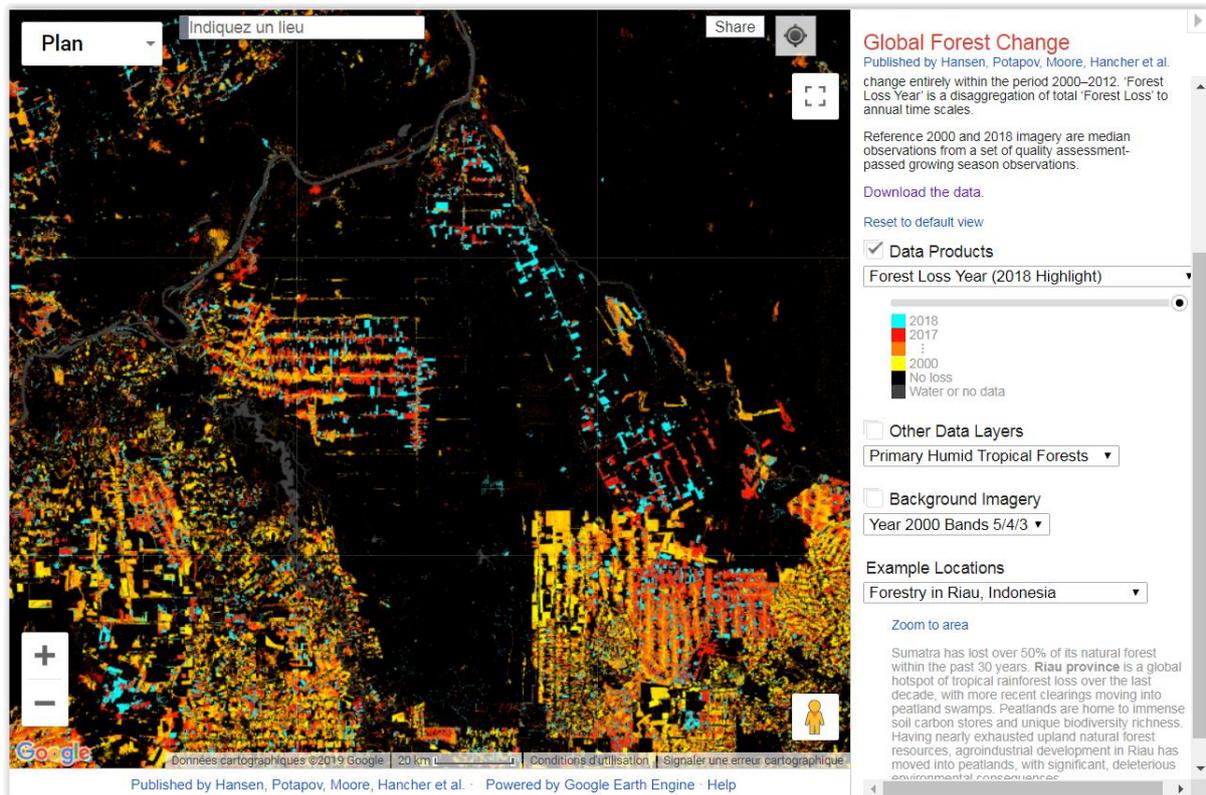
- <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>

Cette application résulte d'analyses de séries temporelles d'images satellites Landsat entre 2000 et 2018 et met en évidence l'étendue et les changements des forêts sur l'ensemble de la planète.

Consultez les différentes couches d'information disponible via le menu « Data Products ».

Quelle(s) couche(s) d'information vous semblent la (les) plus pertinentes par rapport à la problématique de cet exercice ?

Remarquez que la couche « Forest Loss Year (2018 Highlight) » permet de bien mettre en évidence la déforestation 2018 qui semble inaugurer assez clairement un nouveau front de déforestation dans la partie Nord de « Paraiso Verde ».



**Figure 46 : Portail web « Global Forest Change » développé par « University of MARYLAND » pour la zone d'étude de « Paraiso Verde » dans l'Etat de Rondônia au Brésil. Donnée affichée : « perte en forêt » annuelle avec une mise en évidence de l'année 2018 en bleu clair.**

## 6.5. EO Browser

A l'aide des indications ci-dessous, découvrez l'application « EO Browser » et utilisez-la sur la zone d'étude de « Paraiso Verde » en tentant de reproduire les graphiques présentés ci-dessous à l'aide des données de type NDVI de Sentinel-2. (~ 20 minutes)

EOBrowser est une application plus récente, développée par l'ESA (European Space Agency), disponible ici (Figure 47):

- <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser>

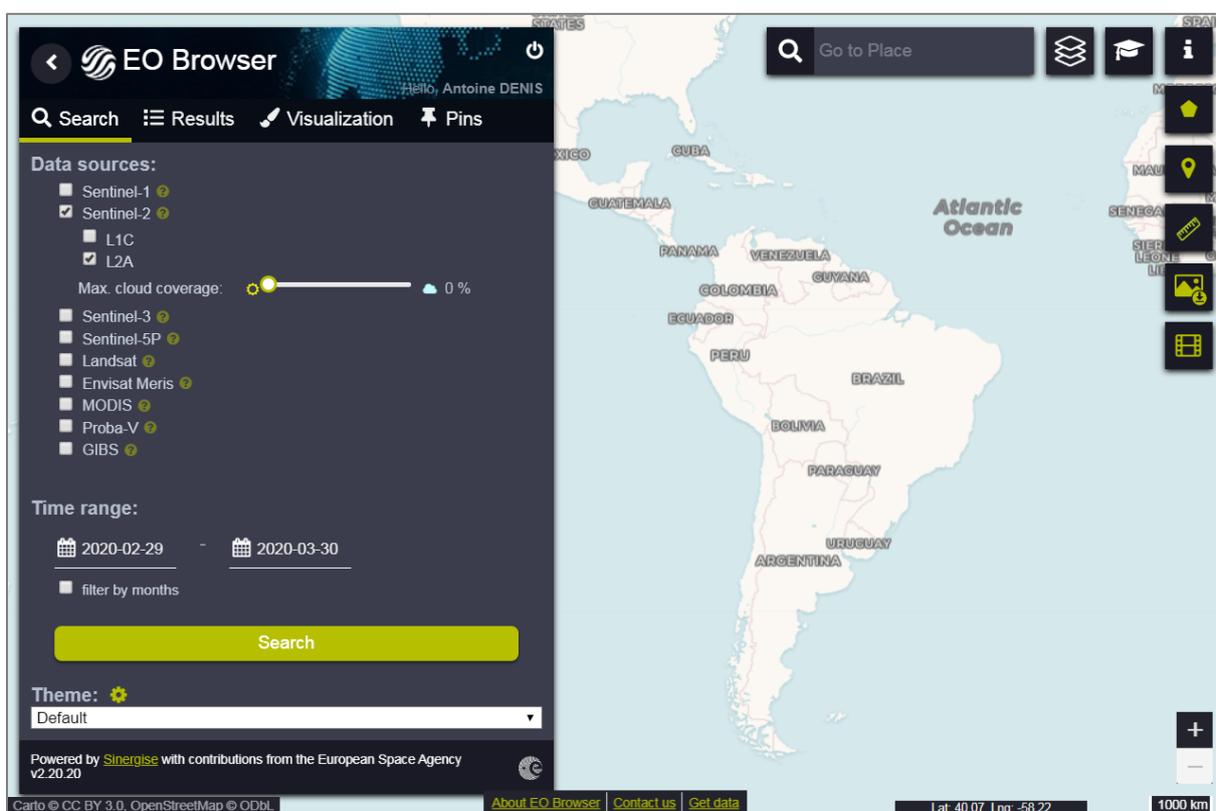
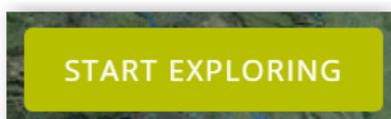


Figure 47 : Interface de recherche d'images satellites dans l'application « EO Browser »

- Accédez au portail via le bouton “Start exploring” (via le bouton « sign in », vous risquez de rencontrer un problème de connexion)



*“EO Browser combines a complete archive of **Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3**, ESA’s archive of **Landsat 5, 7 and 8**, global coverage of **Landsat 8, Envisat Meris, Proba-V and MODIS** products in one place.”*

- Enregistrez-vous pour avoir accès à toutes les fonctionnalités de cette interface (Sign in > Sign up).

(Nouveau : free trial avec période limitée de 30 jours...)

### **6.5.1. Analyse sur la partie Nord du territoire étudié**

Vous allez tenter de mettre en évidence la dynamique de la déforestation dans la zone d’étude pour ces 2 dernières années, 2018 et 2019 via la réalisation de graphiques et de timelapses (animation temporelle d’images). Concentrez-vous sur la partie Nord du territoire étudié pour lequel l’application précédente « Global Forest Change » a mis en évidence une déforestation importante en 2018.

**!! Pour faire une recherche d’images, attention, respectez les étapes suivantes :**

- Zoomez sur la zone d’intérêt.
- Onglet « Search » : choisissez le type d’images et la période à explorer + clic sur Search
  - Explorez tour à tour les 2 produits disponibles suivants :
    - Sentinel 2 level 2A
    - Sentinel 1 (toutes)
    - (Remarquez que Landsat est aussi disponible)
  - Remarquez que pour Sentinel 2 et Landsat 8, il y a la possibilité d’appliquer un filtre sur la couverture nuageuse
  - Remarquez que pour Sentinel 1, il n’y a pas de filtre nuage. Ceci est normal étant donné que les images RADAR ne sont pas impactées par les nuages. Constatez-le.
- Onglet « Results » : une fois les résultats obtenus, **cliquez dans l’interface géographique à l’endroit sur lequel vous voulez faire votre recherche**. Ceci permet de ne faire apparaître dans la fenêtre de visualisation QUE les images couvrant cet endroit !
- « Fenêtre Pop up » : choisissez une image en particulier à afficher dans l’interface principale
  - Remarquez que la plupart des images Sentinel-2 sont fortement ennuagées
- Naviguez dans le temps à l’aide du calendrier et essayez de trouver une image Sentinel-2 peut ennuagée.

- Pour une image Sentinel-2 et une image Sentinel-1, explorez rapidement les différents modes de visualisation disponibles (indices de végétation, compositions fausse couleur, etc) (exemple à la Figure 48).

**Réalisation d'un graphique de l'évolution temporelle du signal satellite sur la zone** (Figure 49 et Figure 50).

Seuls certains produits peuvent être utilisés pour la réalisation de graphique :

- **Sentinel 2 : uniquement sur le NDVI, Moisture index et NDWI, AVEC possibilité de filtre nuage dans l'application graphique !!!**
- Sentinel 1 : aucun produit
- PROBAV : aucun produit
- **Landsat8 (USGS) : uniquement pour le NDVI et le thermique, mais pas de filtre nuages dans le graphique → série très bruyante !**
- Landsat 7: ne semble pas y avoir d'image disponible

Pour réaliser un **graphique de l'évolution temporelle d'un produit**, il faut utiliser une « ROI » (Region Of Interest), soit dessiné manuellement (bouton « Draw area of interest » à droite de l'interface), soit importé à partir d'un fichier KML par exemple.

Après avoir obtenu les résultats de recherche pour les images de type Sentinel-2 2A et choisi le rendu « NDVI »:

- Dessinez une ROI dans la partie impactée par la déforestation en 2018.
- Cliquez sur le bouton de réalisation d'un graphique temporel
- Dans l'interface graphique
  - Choisissez d'afficher les produits remontant à 1 an, 2 ans, 5 ans
  - Jouez avec le filtre de nuage et voyez l'impact sur le graphique

### **Timelapse**

Utilisez le bouton de création de timelapse  pour tenter de réaliser une animation pertinente sur la zone d'étude mettant en évidence la dynamique de la déforestation. Une fois enregistrée, cette animation au format « .gif » s'ouvrira par exemple dans un navigateur internet. Un exemple de timelapse est mis à disposition dans le répertoire « ...\3\_SERIE\_TEMPORELLE\_APPLI\_WEB\EO\_BROWSER\Sentinel-2\_L2A-timelapse.gif »

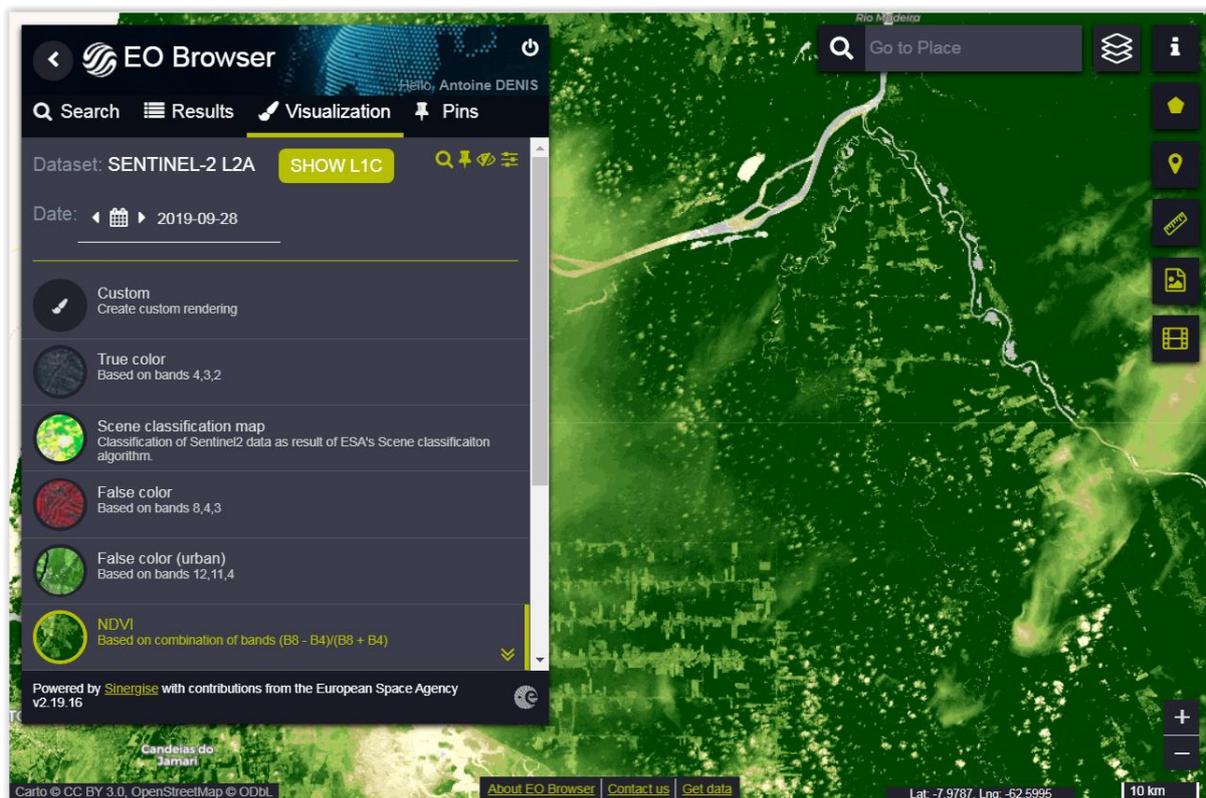


Figure 48 : Aperçu de la zone d'étude avec le NDVI d'une image Sentinel-2

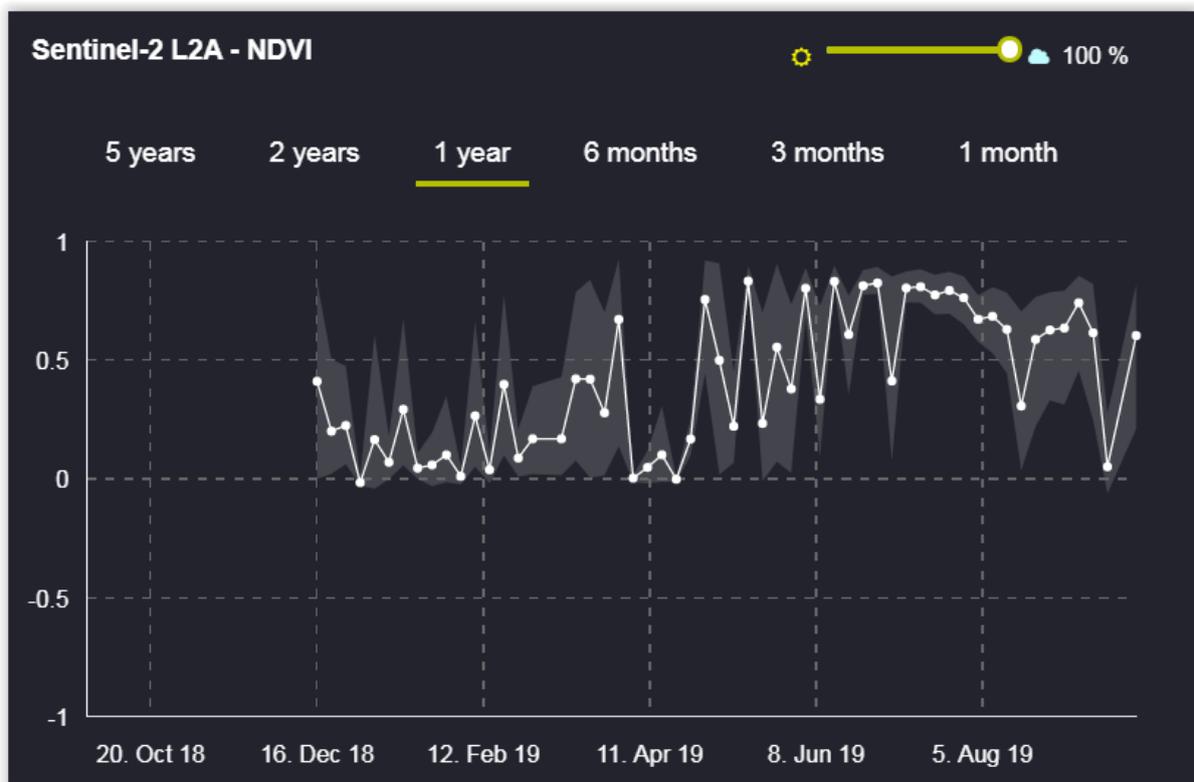


Figure 49 : Graphique de l'évolution temporelle (1 an) du NDVI de Sentinel-2 L2A sur la zone d'étude, sans filtre de nuages : signal très bruyant en dents de scie.

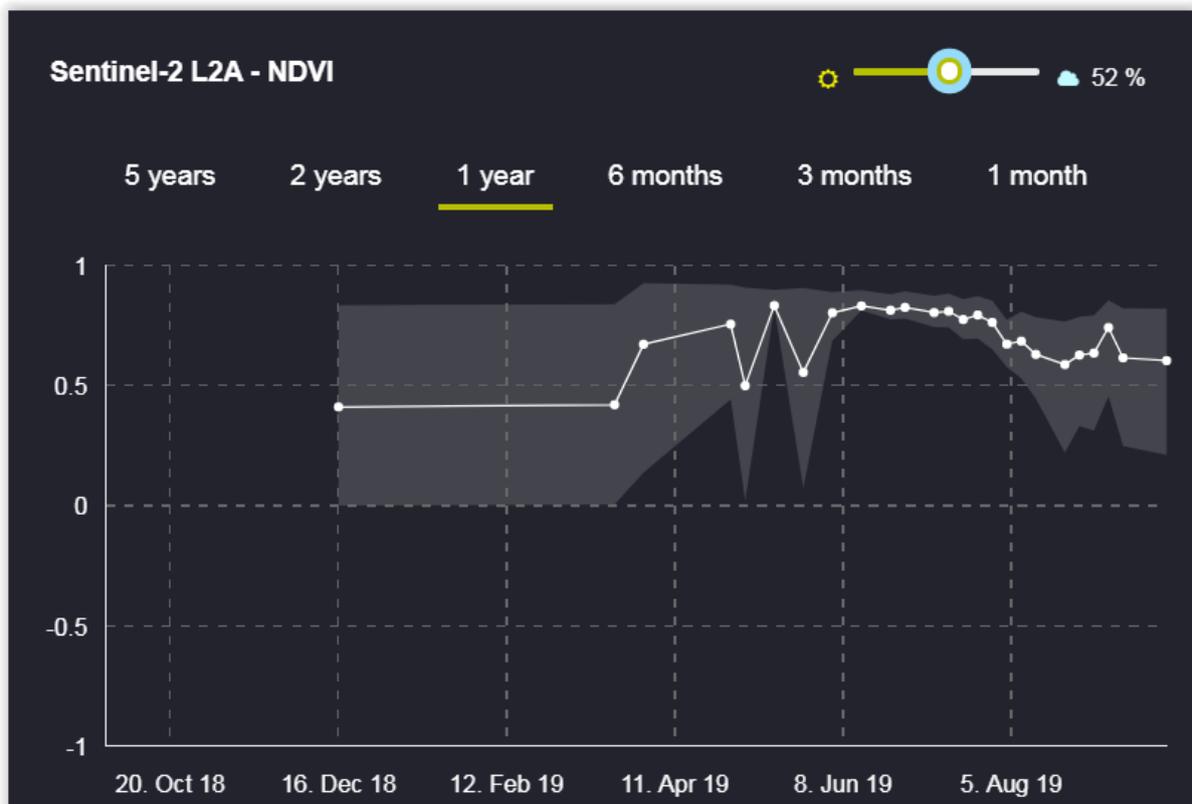


Figure 50 : Graphique de l'évolution temporelle (1 an) du NDVI de Sentinel-2 L2A sur la zone d'étude, AVEC filtre de nuages à 52 % : signal moins bruyant qu'à la figure précédente.

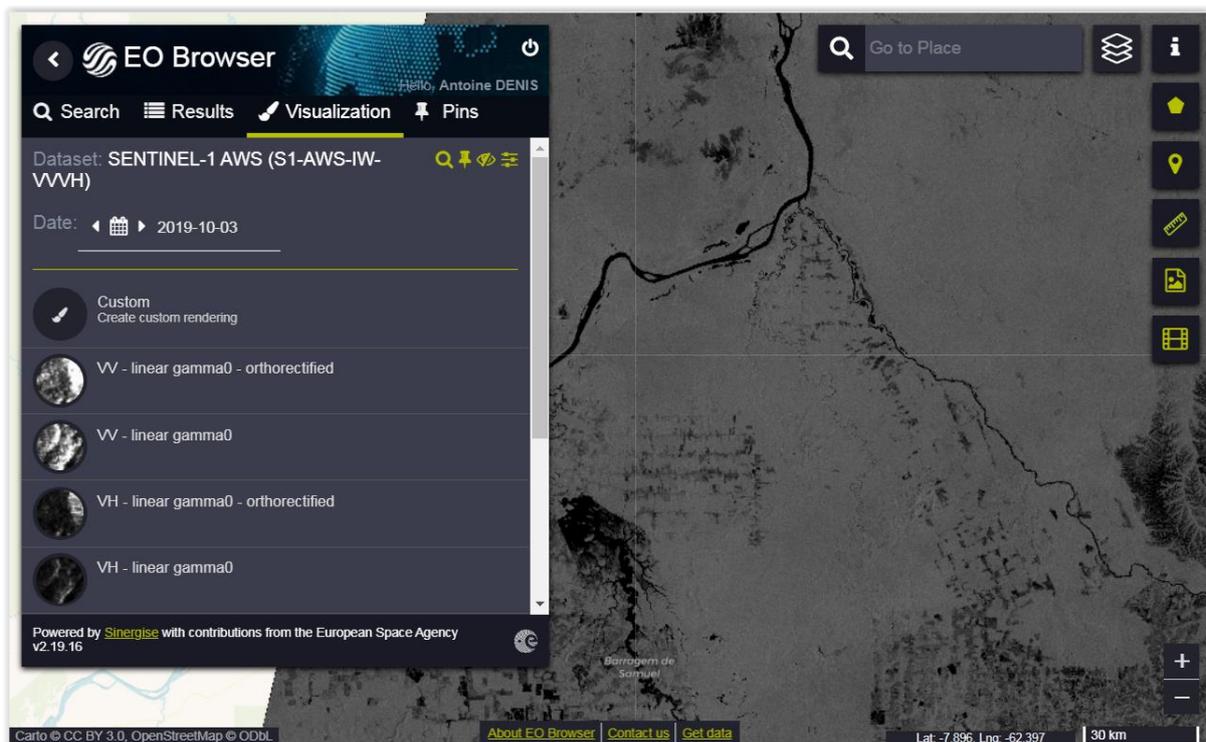
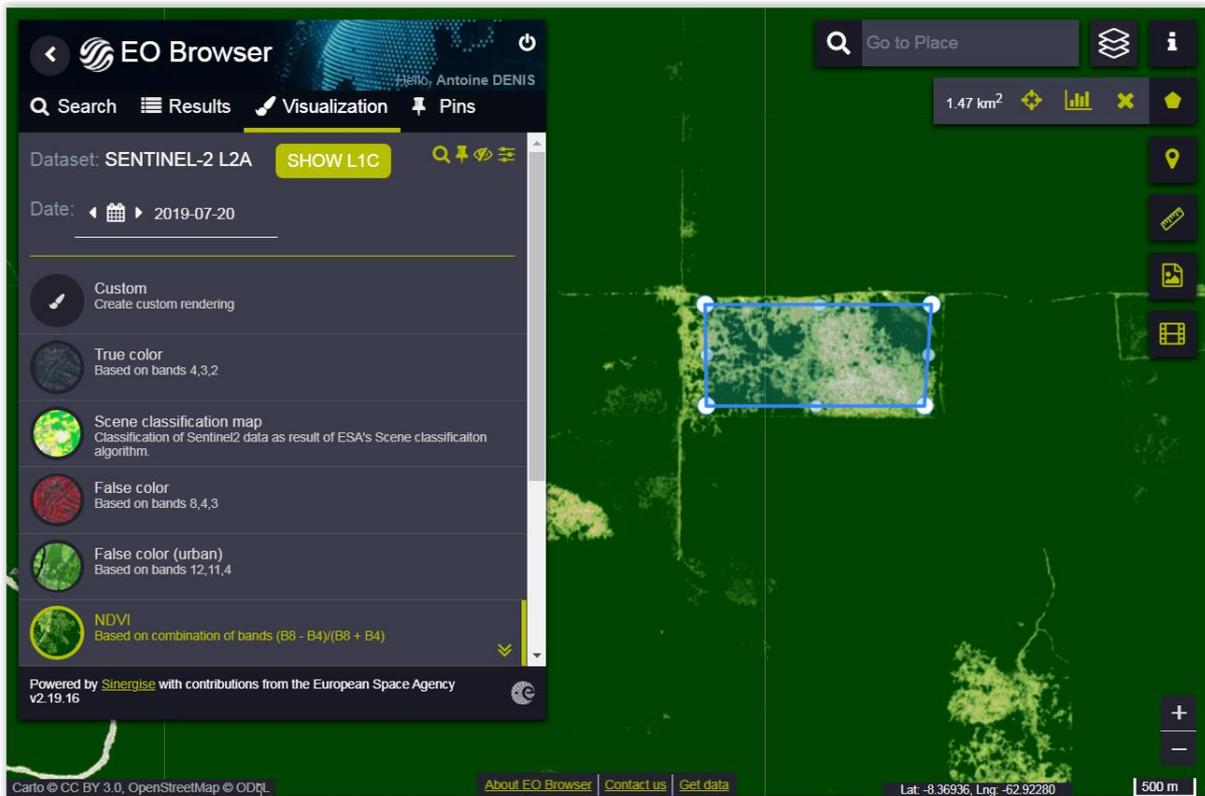
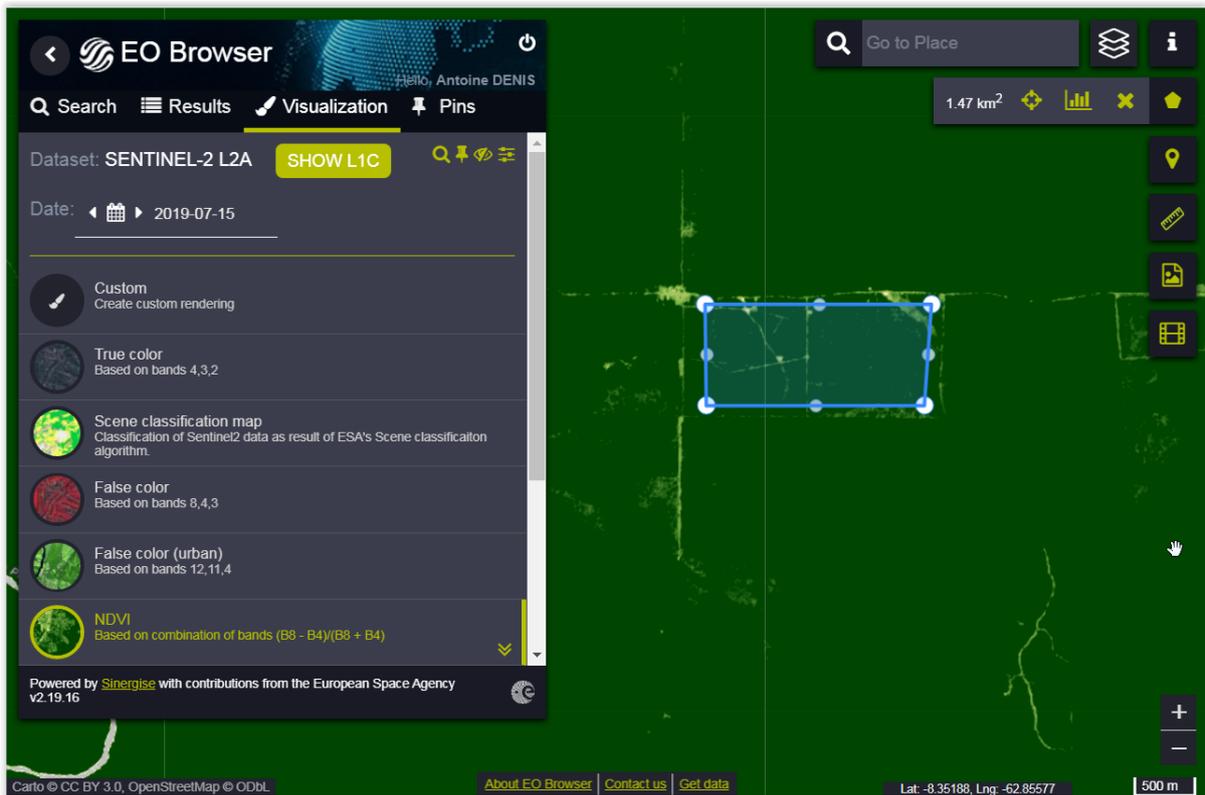


Figure 51 : Aperçu de la zone d'étude avec une image Sentinel-1

### 6.5.2. Analyse sur une parcelle déforestée

Après avoir étudié le nord de la zone, refait le même type d'étude pour **une petite zone correspondant uniquement à une parcelle déforestée en 2018 ou 2019** afin que l'analyse mette clairement en évidence l'effet de la déforestation sur le signal NDVI de Sentinel-2, comme réalisé ci-dessous.

L'exemple repris dans les figures ci-dessous correspond aux coordonnées LAT -8.33 et LON -62.88 entre le 15 et le 20/7/2019 avec le NDVI de Sentinel-2. Un graphique de l'évolution temporelle du NDVI met clairement en évidence une cassure (en anglais : « break ») correspondant à une forte diminution du signal NDVI entre ces 2 dates.



**Figure 52 : Parcelle déforestée dans la zone d'étude telle qu'elle apparaît sur des images NDVI de Sentinel-2, avant (en haut) et après (en bas) déforestation.**

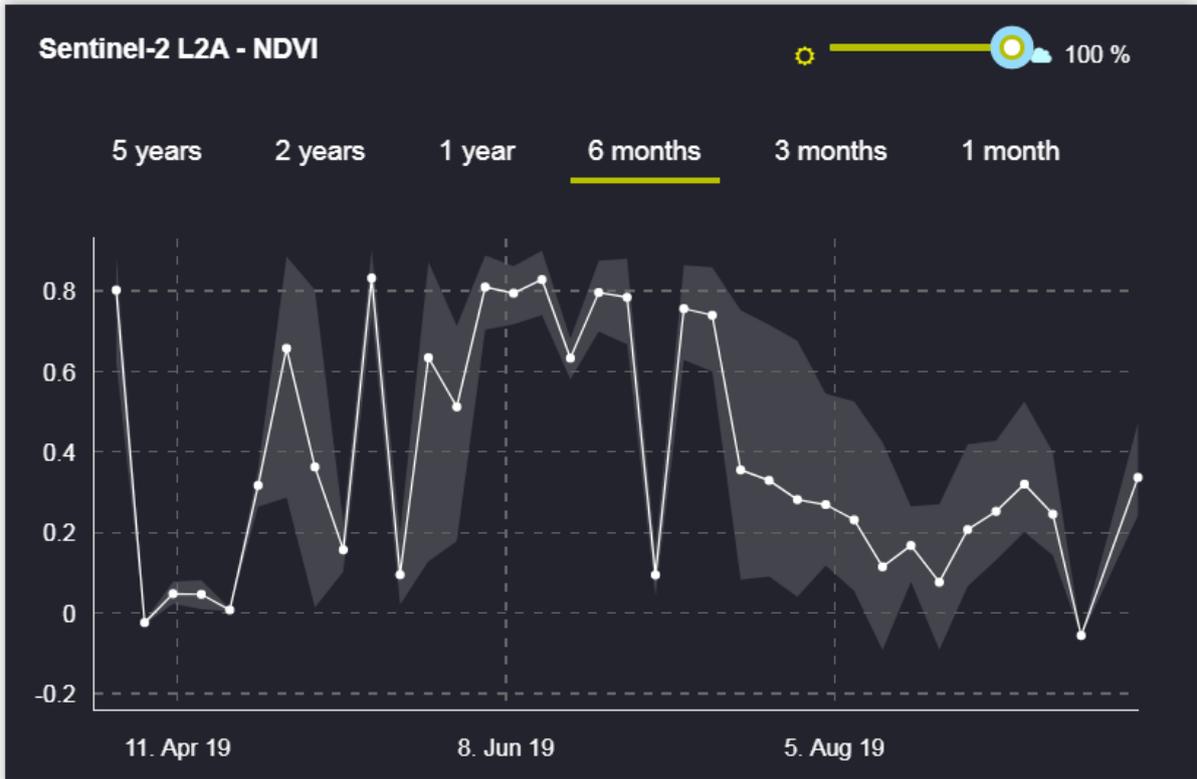


Figure 53 : Graphique de l'évolution temporelle (6 mois) du NDVI de Sentinel-2 L2A sur la parcelle déforestée, SANS (en haut) et AVEC (en bas) filtre de nuages: baisse soudaine du NDVI due à la déforestation bien visible en juillet 2019.

## 6.6. Time series viewer SPOT-VGT & PROBA-V

A l'aide des indications ci-dessous, découvrez l'application « Time series viewer » et utilisez-la sur la zone d'étude de « Paraiso Verde ». (~ 15 minutes)

### ATTENTION !

- **Cette application n'existe plus !** Les explications ci-dessous sont données pour information.
- Cette application a été remplacée par l'application <https://viewer.probav.vito.be/probav> qui est cependant moins aboutie que l'application initiale (lenteur, manipulations moins efficaces pour la production de résultats,...)

Analyse d'une série temporelle d'images NDVI basse résolution via une application web (temps : 15 minutes).

A l'aide du « **Time series viewer** » développé par le VITO et disponible ici (il faut copier-coller le lien manuellement dans une page web pour accéder à l'application):

- ~~<https://proba-v.mep.esa.int/applications/time-series-viewer/app/app.html>~~

### Produits disponibles :

- NDVI : issus des capteurs PROBAV et SPOT-VGT (S10 = synthèse décadaire (sur une période de 10 jours) à partir d'images acquises quotidiennement)
- 4 produits CGLS (Copernicus Global Land Service) : FAPAR, LAI, FCOVER, Dry Matter Productivity
- Météo

Pour en savoir plus :

- Sur SPOT-VEGETATION : <http://www.spot-vegetation.com/>
- Sur PROBA-V : <http://proba-v.vgt.vito.be/en>

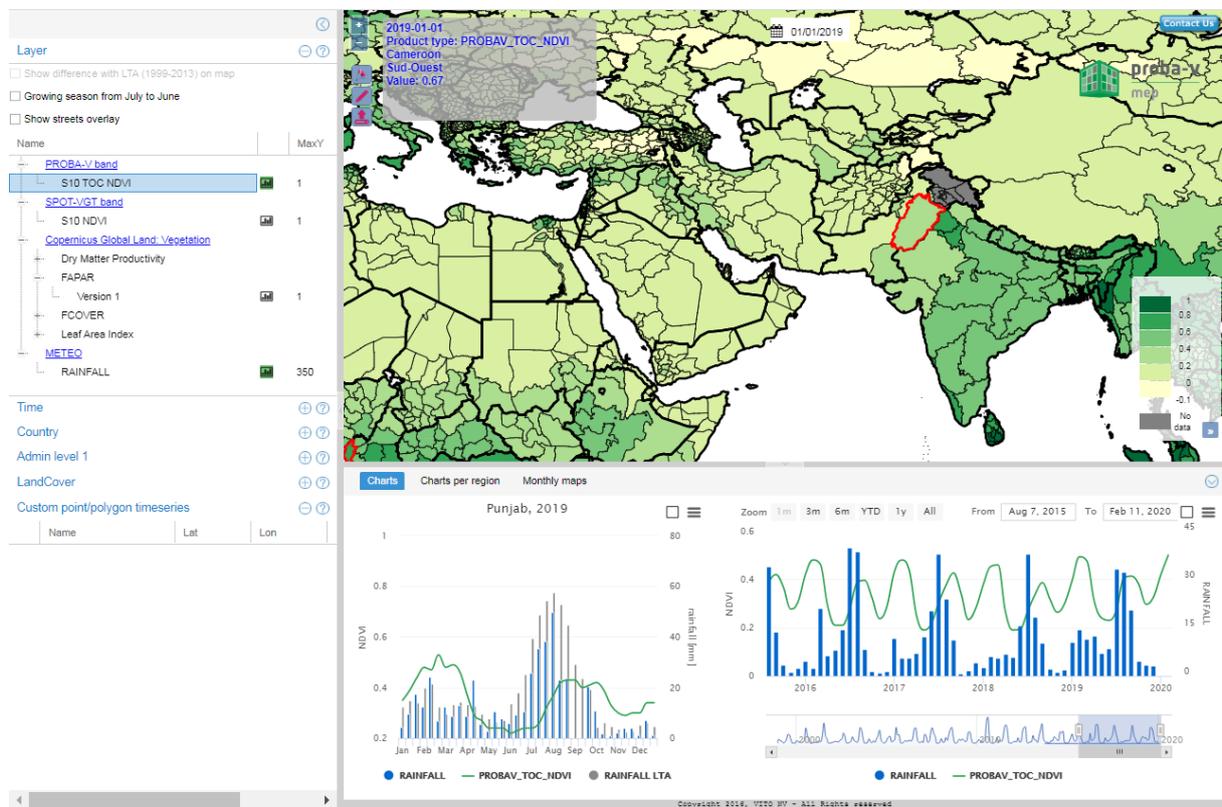
Explorez **différentes régions du monde** et mettez en évidence le **lien entre l'évolution temporelle des conditions de végétation (NDVI) et des précipitations**.

- **Pakistan** (Figure 54)
  - Double saison de végétation annuelle dans certaines régions
- **Maroc** (Figure 55)
  - Nord : saison unique avec amplitude importante et année sèche visible : irrégularité interannuelle
  - Sud : faible amplitude
- **Wallonie** (Figure 55)

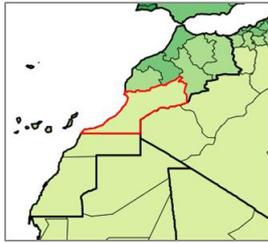
- Saisons larges et amples
- L'impact de la sécheresse 2018 est-il visible ?
- **Burkina Faso** (Figure 55)
  - Nord : saisons amples mais étroites
  - Sud : saisons amples et plus large
- **Sud du Bénin** (Figure 56)
  - Evolution latitudinale des types de saisons de végétation

Remarquez la possibilité de travailler avec des masques d'occupation du sol (« landcover »).

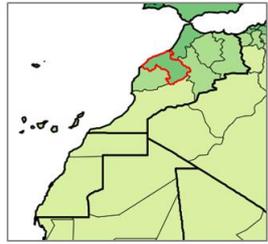
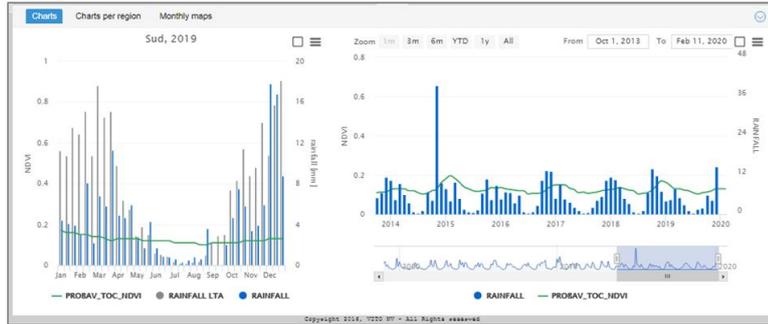
Quelques exemples de graphiques sont repris ci-dessous.



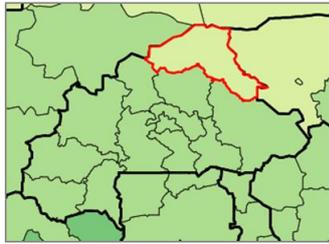
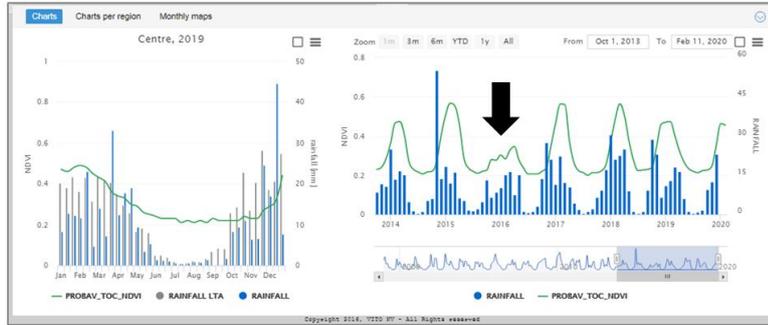
**Figure 54 : Double saison de végétation annuelle observée pour le Punjab au Pakistan sur base du NDVI PROBA-V (courbe verte) et précipitations (bleu)**



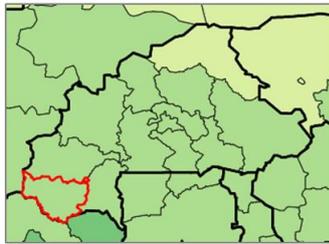
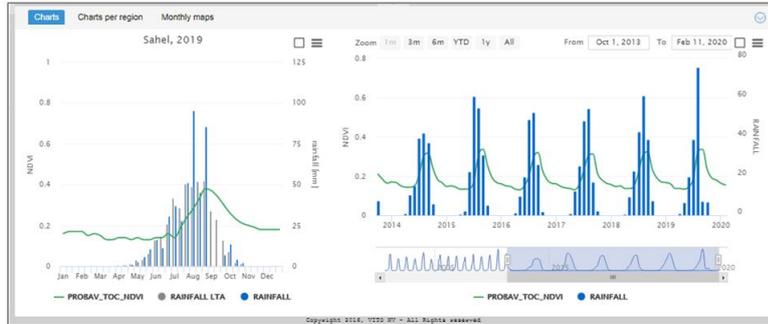
Sud Maroc (Sud)



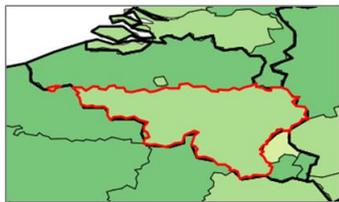
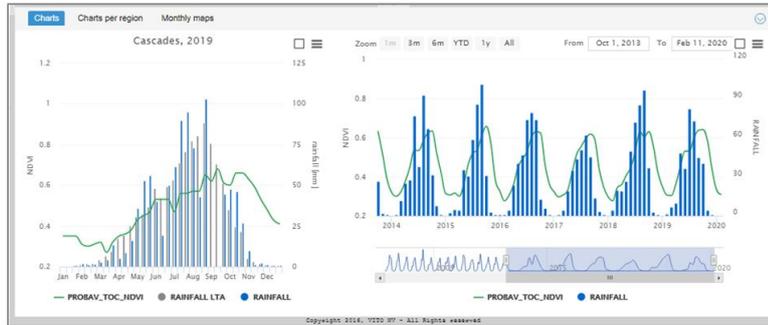
Centre Maroc (Centre)



Nord Burkina Faso (Sahel)



Sud Burkina Faso (Cascades)



Sud Belgique (Région wallonne)

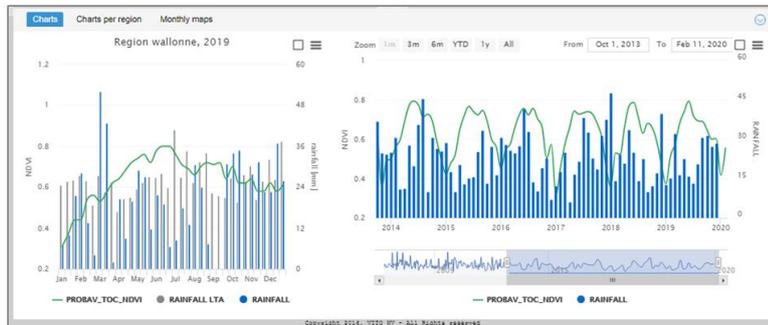
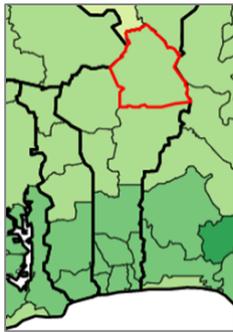
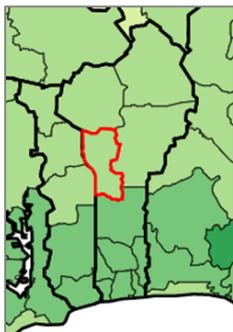
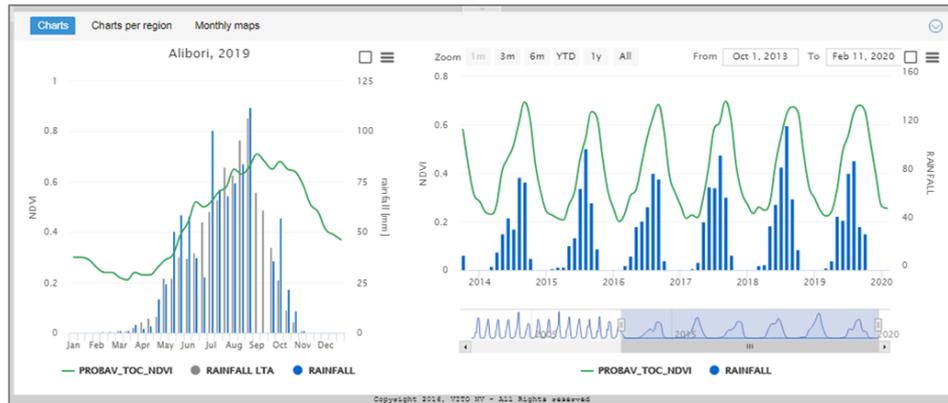


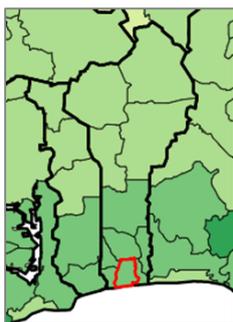
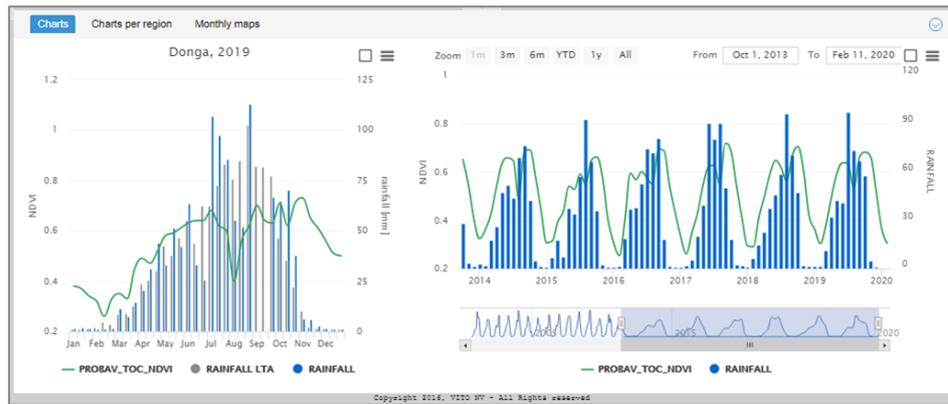
Figure 55 : Différents types de saisons de végétation pour quelques régions du monde sur base du NDVI PROBA-V (courbe verte) et précipitations



Nord Bénin (Alibori)  
Saison unique



Centre Bénin (Donga)  
Intermédiaire

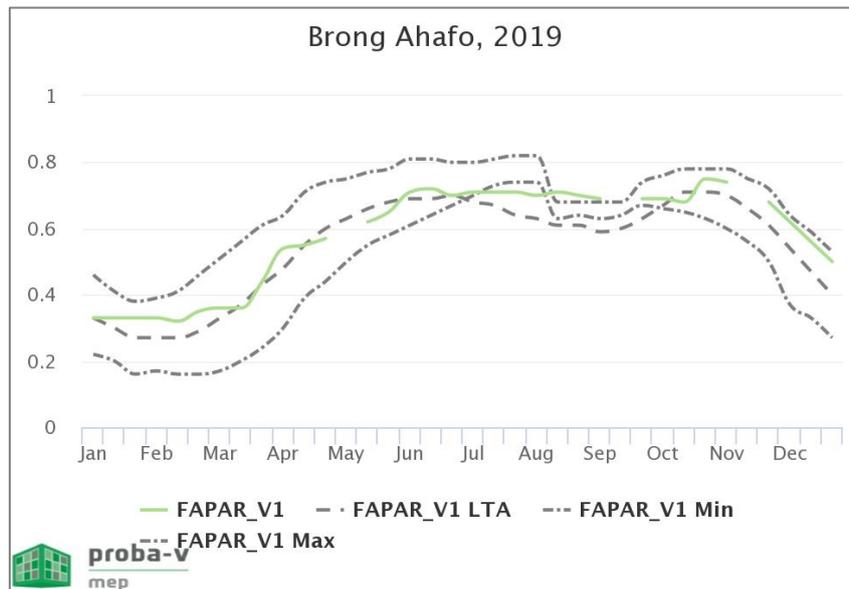


Sud Bénin (Atlantique)  
Double saison



Figure 56 : Evolution latitudinale des types de saisons de végétation (courbes vertes) pour 3 régions du Bénin (Afrique de l'Ouest), depuis une double saison sur la côte dans le Sud jusqu'à une saison unique dans le Nord en passant par une saison de type intermédiaire (double petit pic) dans le centre. Précipitations en bleu.

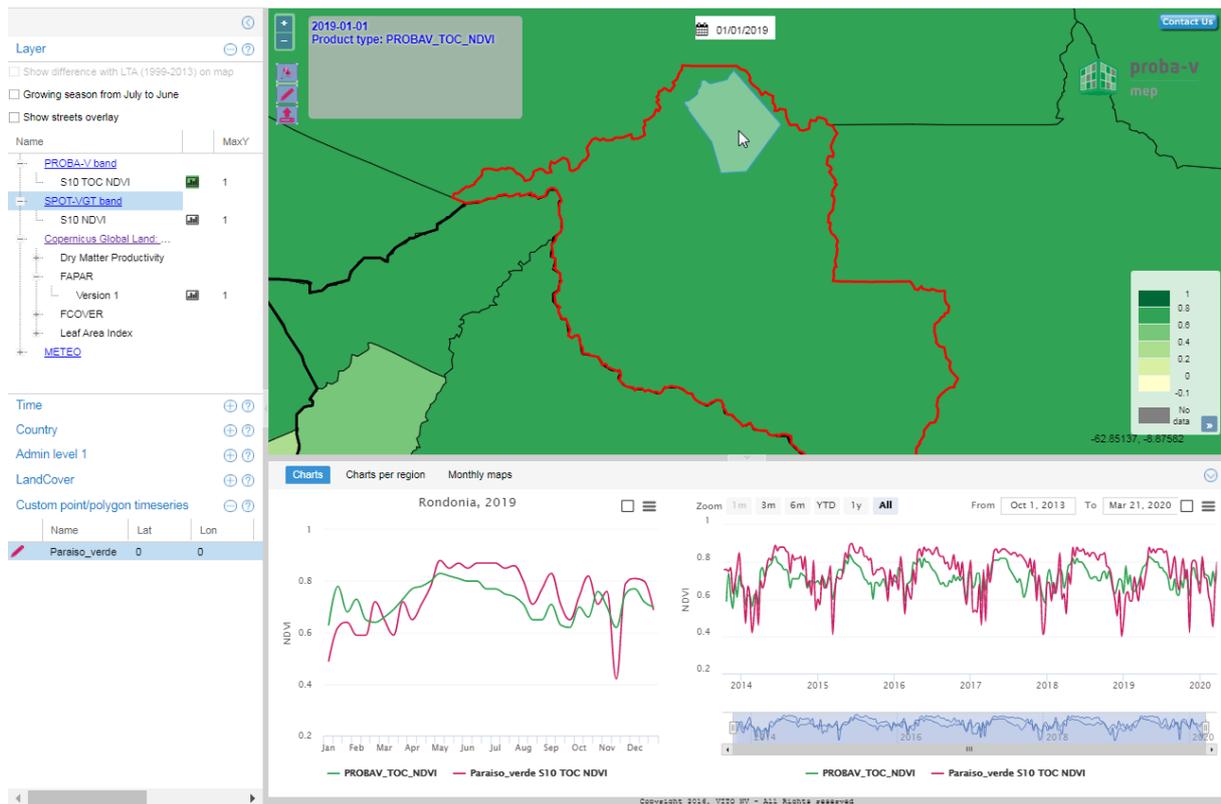
Remarquez que la qualité des données disponibles via ce portail ne semble pas toujours être garantie : confer la Figure 57.



**Figure 57 : Exemple d'évolution du FAPAR pour une région du Ghana : il semble y avoir une erreur dans les données puisque la moyenne historique (Long Term Average - LTA) passe sous le minimum.**

**Tentez enfin une visualisation pour la zone d'étude de « Paraiso Verde ».**

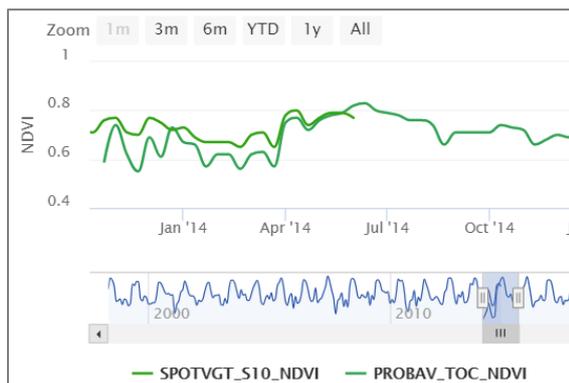
- **Sur l'Etat** de Rondônia (Figure 58, courbe verte)
- **Pour un polygone** (disponible uniquement pour PROBAV 2014-2020) (Figure 58, courbe mauve)
  - Possibilité d'uploader le shapefile mis à disposition dans le répertoire « ...\\3\_SERIE\_TEMPORELLE\_APPLI\_WEB\QGIS\VECTOR\_DATA\Paraiso\_verde.shp ».
- **(Pour un point** (via le drapeau) (disponible uniquement pour PROBAV 2014-2020) : non réalisé dans ce manuel.
  - Documentation du portail: "Custom point of interest to show a time serie break or something like this point time series":
    - <https://proba-v-mep.esa.int/documentation/manuals/time-series-viewer#point-timeseries>



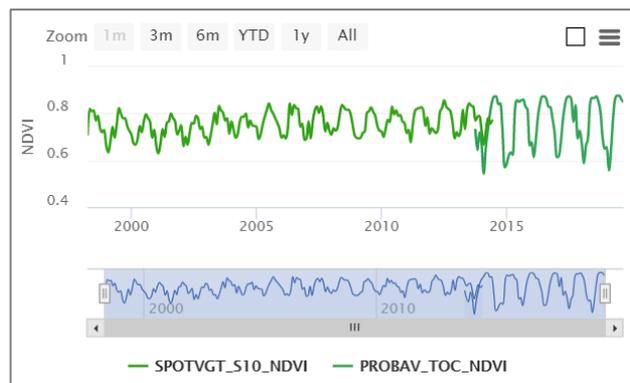
**Figure 58 : Evolution du NDVI PROBA-V pour l'Etat de Rondônia (courbe verte) et pour la zone d'étude Paraiso Verde (courbe mauve).**

Constatez aussi à certains endroits (Figure 59):

- L'écart de NDVI entre les 2 capteurs SPOT VEGETATION et PROBA V pour 2014
- La différence d'amplitude et de bruit de NDVI entre SPOT VGT ET PROBAV



Rondônia, Brésil



Région d'Ucajali (Centre-Est du Pérou)

**Figure 59 : Exemples de différences (valeur absolue, amplitude, bruit) entre le « NDVI SPOT-VEGETATION » et le « NDVI PROBA-V » pour 2 régions.**

## 6.7. Terrascope

Découvrez rapidement, selon votre intérêt, l'application « Terrascope » (non disponible pour la zone d'étude, présentée à titre d'information). (~ 10 minutes)

Terrascope est une plateforme belge disponible ici:

- Site web principal :
  - <https://terrascope.be/fr>
- Viewer d'images satellites (Figure 60):
  - <https://viewer.terrascope.be/terrascope/?language=fr&bbox=-102,10,77,78>

**Les images et produits satellites disponibles sont :** Sentinel 1, Sentinel 2, PROBA-V, Copernicus Land Services (LAI, FAPAR). Quelques couches externes (orthophotos, parcellaire agricole) sont également disponibles.

Cette plateforme ne couvre que la **Belgique et sa proximité immédiate**.

Enregistrez-vous pour avoir accès à toutes les fonctionnalités de cette interface (Register and Log in).

Découvrez éventuellement les diverses fonctionnalités de la plateforme via le **bouton « Faire un tour »**.

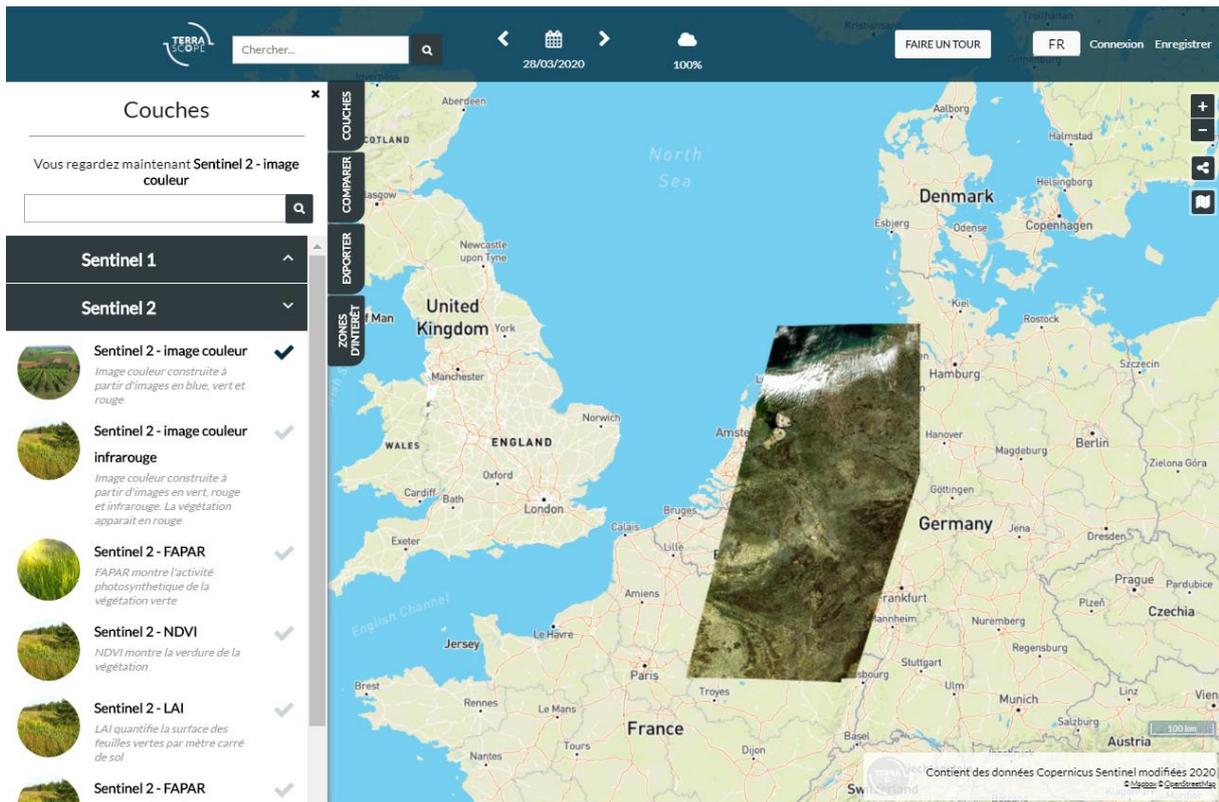
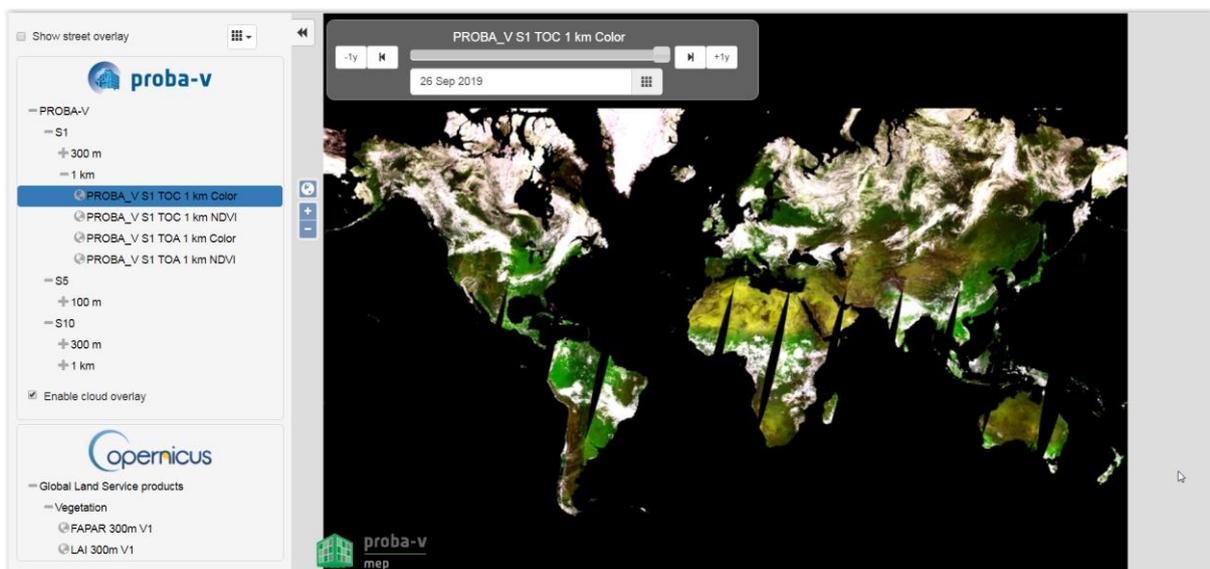


Figure 60 : Aperçu du « viewer » de la plateforme « Terrascope » avec les images Sentinel-2 disponibles pour le 28 mars 2020.

## 6.8. Viewer quotidien des images PROBA-V

Pour information. (~ 5 minutes)

- <https://proba-v-mep.esa.int/applications/geo-viewer/app/>



## 6.9. Système mondial d'information et d'alerte rapide sur l'alimentation et l'agriculture (SMIAR)

Pour information. (~ 5 minutes)

Site web :

- <http://www.fao.org/giews/earthobservation/index.jsp?lang=fr>

« Le SMIAR suit l'état de développement des principales cultures vivrières à travers le monde afin d'évaluer les perspectives de production. Pour appuyer l'analyse et compléter les informations recueillies sur le terrain, le SMIAR utilise des **données de télédétection** en vue de récolter des indications importantes sur la **disponibilité en eau et la santé générale de la végétation** au cours des campagnes agricoles. Outre les estimations concernant la pluviométrie et l'indice de végétation par différence normalisé (**NDVI** - Normalized Difference Vegetation Index), le SMIAR et la Division CBC de la FAO ont mis au point l'**Indice de stress hydrique** (ASI - Agricultural Stress Index), un indicateur qui permet d'identifier rapidement des zones agricoles probablement affectées par des périodes sèches, voire des sécheresses dans les cas extrêmes. »

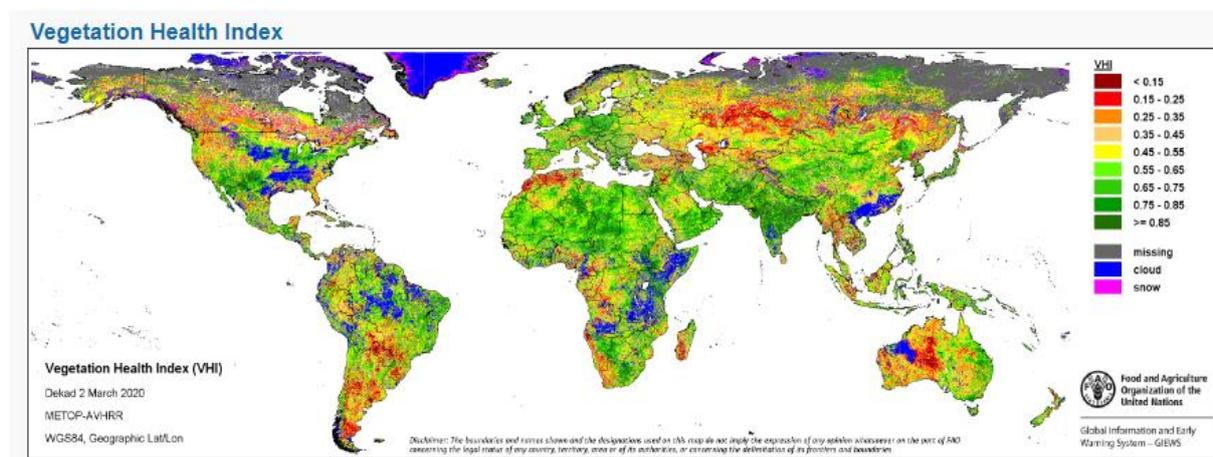


Figure 61 : Carte de l'indice de santé de la végétation sur le site web du SMIAR.

## 6.10. Fonte des glaces du pôle Nord

Pour information. (~ 5 minutes)

Exemple supplémentaire de monitoring qui peut être fait à partir d'une série temporelle d'images satellites.

- Disappearing Arctic sea ice, animation  
<https://www.youtube.com/watch?v=hIVXOC6a3ME>
  - Disparition progressive de la glace la plus ancienne/la plus épaisse
  - Plus d'information: <https://svs.gsfc.nasa.gov/4616>
- Arctic Sea Ice Reaches 2019 Minimum Extent  
<https://www.youtube.com/watch?v=2XKYdSgf2ss> (Figure 62)

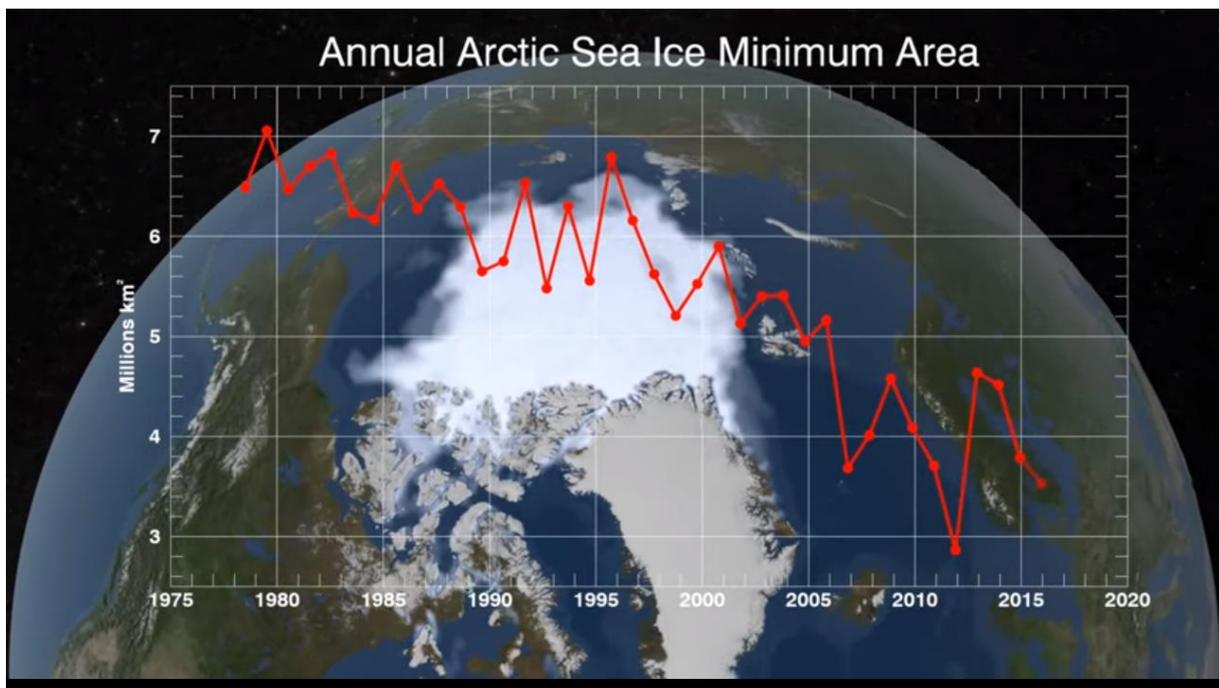


Figure 62 : "Arctic Sea Ice Reaches 2019 Minimum Extent". Source: <https://www.youtube.com/watch?v=2XKYdSgf2ss>

# 7. Manipulations de données hyperspectrales dans QGIS

<b>Objectifs pédagogiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mieux comprendre la notion d'<b>image hyperspectrale</b></li> <li>• Constaté la <b>variation des signatures spectrales pour différentes occupation du sol</b></li> <li>• Se familiariser à l'<b>analyse de diverses formes graphiques de représentation de l'information spatiale</b> (signature spectrale, nuage de points 2D, cube hyperspectral)</li> </ul>
<b>Données &amp; Projet QGIS!</b>	<p>Les données nécessaires à la réalisation de cet exercice sont disponibles dans le dossier « ...\<b>4_HYPERSPECTRAL</b>\... » (~ 50 MB) et correspondent à :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Des données hyperspectrales ponctuelles de laboratoire</li> <li>• Une image satellite hyperspectrale CHRIS-PROBA</li> </ul> <p>Téléchargez ce dossier sur votre ordinateur en local dans votre répertoire de travail et décompressez-le. ATTENTION ! Voyez la section 1.2 page 19 pour plus d'information sur l'accès aux données.</p> <p><b>Projet QGIS : « HYPERSPECTRAL.qgz »</b> situé dans ce même dossier.</p>
<b>Logiciel ou application</b>	<b>QGIS 3.10 ou supérieur</b> <a href="https://www.qgis.org/fr/site/forusers/download.html">https://www.qgis.org/fr/site/forusers/download.html</a> .
<b>Temps approximatif</b>	<p>~ 15-20 minutes pour les données hyperspectrales ponctuelles.            ~ 30 minutes pour l'image hyperspectrale.</p>
<b>Prérequis</b>	Aucun.

## 7.1. Introduction

Dans cette section vous aurez brièvement l'occasion de manipuler quelques données de type « hyperspectral ». Un signal est dit « **hyperspectral** » lorsqu'il est composé de **nombreuses bandes** spectrales (généralement 100 ou plus), **étroites** (1 à 500 nm de largeur par exemple) et **contiguës** (signal continu dans la gamme spectrale considérée) (exemple à la Figure 64).

Les données hyperspectrales peuvent se présenter de différentes façons en fonction du capteur duquel elles sont issues (Figure 63) :

- **Image hyperspectrale** : il s'agit d'une image (comme une image satellite multispectrale par exemple) avec une résolution spectrale très importante. Exemple : le capteur "AHS-160" est disposé dans un avion et est composé de 80 bandes spectrales, couvrant 5 parties du spectre solaire entre 0.43 – 12.7  $\mu\text{m}$  (VIS+NIR+SWIR+TIR).
- **Donnée hyperspectrale ponctuelle** : ces données sont enregistrées à l'aide d'un capteur portable utilisé par un opérateur directement sur le terrain (en plein air ou en laboratoire). Exemple : capteur de type « Analytical Spectral Device (ASD) », qui se porte comme un sac à dos et enregistre l'information spectrale dans 2151 bandes spectrales contiguës de 1 nm de large chacune, entre 350 et 2500 nm.

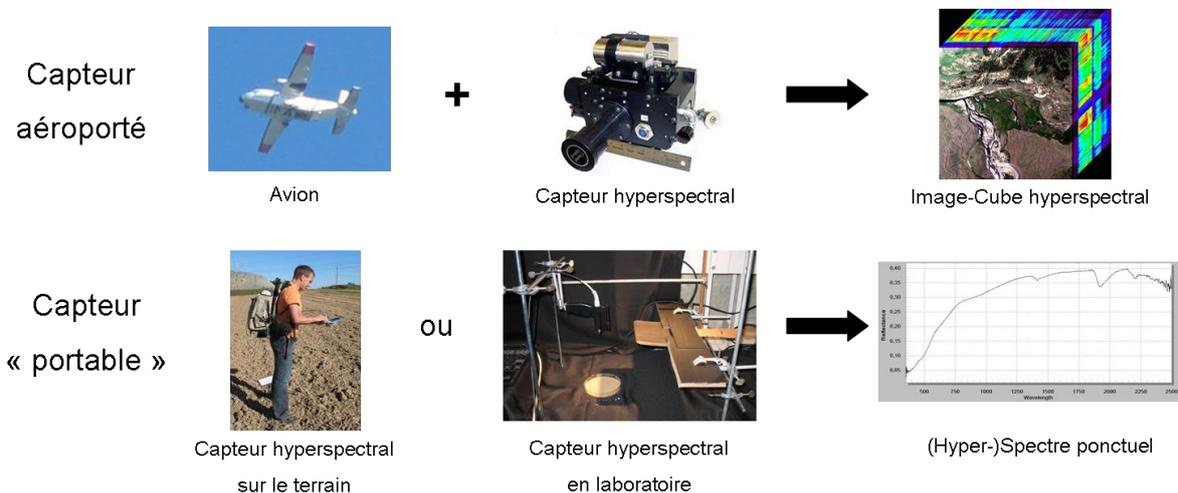
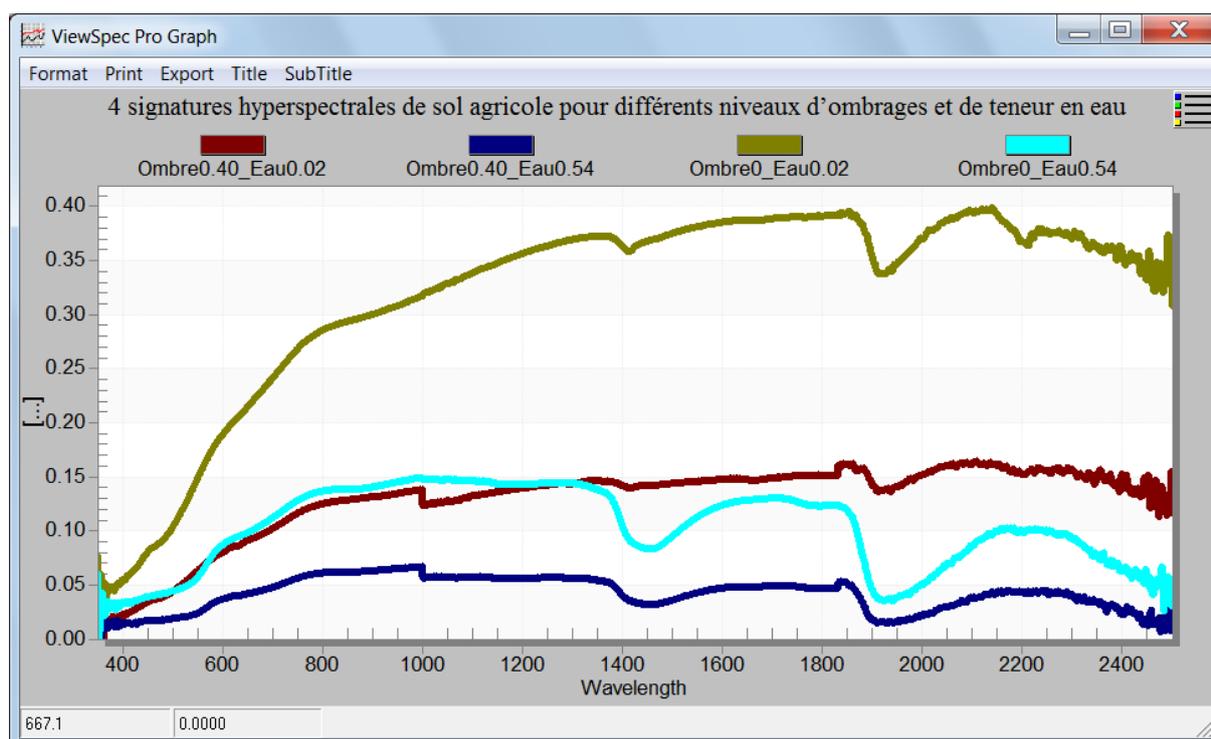


Figure 63 : Différents types d'acquisitions de données hyperspectrales

## 7.2. Manipulation de données hyperspectrales ponctuelles (ASD) dans « ViewSpecPro »

Les données que vous allez utiliser ont été acquises sur des échantillons de sol agricoles étudiés en laboratoire pour différents niveaux de teneurs en eau et d'ombrages. (Remarque : pour les sols ombragés, l'énergie incidente correspond à la pleine lumière et l'énergie réfléchi correspond à la lumière réfléchi par un sol partiellement ombragé.)



**Figure 64 : 4 signatures hyperspectrales de sol agricole pour différents niveaux d'ombrages et de teneur en eau**

Le logiciel à utiliser est « **ViewSpecPro** ». Ce logiciel gratuit peut être téléchargé à l'adresse web suivante : <https://www.malvernpanalytical.com/fr/support/product-support/software/ViewSpecProSoftwareInstall.html> après inscription sur ce site.

Les fichiers se trouvent dans le répertoire « **4\_HYPERSPECTRAL\HYPERSPECTRAL\_ASD\_LABO** »:

- Naviguez vers ce répertoire (via Windows) et ouvrez le fichier texte « **Exemple\_fichier\_hyperspectral\_texte.txt** ». Il vous donne un aperçu de comment peut être organisé l'information spectrale dans un fichier : une colonne pour les longueurs d'ondes (nm) et une pour les valeurs de réflectance. Expliquez les valeurs de ces deux colonnes.
- Démarrez le logiciel « **ViewSpecPro** »

- Cliquez sur « **File > Open >** » et naviguez jusqu'au répertoire contenant les données hyperspectrales
- Sélectionnez les 4 fichiers dont le nom commence par « Ombre... ». et cliquez sur « Ouvrir »

Les fichiers sélectionnés devraient apparaître dans la fenêtre principale de « ViewSpecPro »

- Sélectionnez tous les fichiers et cliquez sur « **View > Graph Data** ».
- Modifiez éventuellement la symbologie des courbes via un double-clic gauche sur le graphique > Style

Les spectres correspondants aux fichiers sélectionnés s'affichent à l'écran (Figure 64).

La **présence d'eau et/ou l'ombrage** induisent une diminution importante de la réflectance (assombrissement du sol).

## 7.3. Manipulation de données hyperspectrales images (CHRIS-PROBA)

### 7.3.1. Présentation de l'image hyperspectrale

L'image que vous allez utiliser a été acquise par le capteur CHRIS (Compact High Resolution Imaging Spectrometer) monté sur le satellite PROBA (Project for On Board Autonomy) (Figure 65). Il enregistre les images dans 62 bandes spectrales comprises dans l'intervalle [400 nm - 1000 nm].

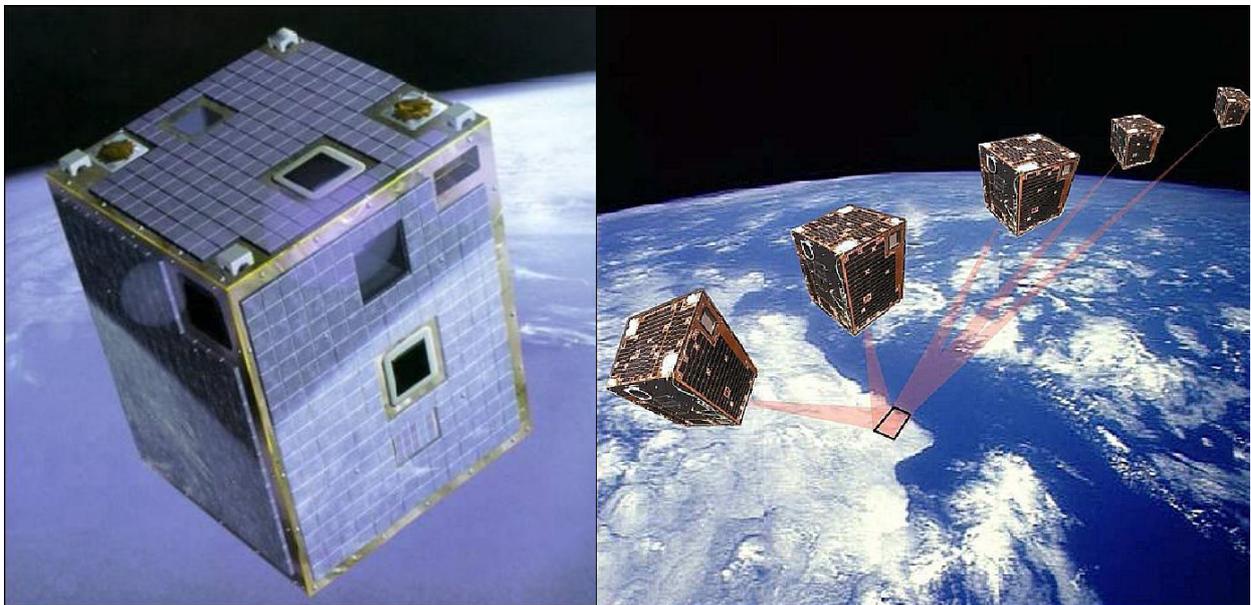


Figure 65 : Vue d'artiste du satellite PROBA (crédit image: Verhaert Space, ESA) (gauche) et illustration d'une séquence de prises de vue multi-angulaire de PROBA-1 (crédit image : SSTL, ESA) (droite). Source: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/p/proba-1>.

Plus d'information sur le couple CHRIS-PROBA est disponible aux pages web suivantes :

- <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/proba>, ESA earthnet online (ESA = European Space Agency)
- <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/p/proba-1>

L'image que vous allez utiliser se trouve dans le dossier « **\4\_HYPERSPECTRAL\HYPERSPECTRAL\_IMAGE\_CHRIS\_PROBA\** » et est nommée « **CH100728\_N.BIN** ». Elle a été enregistrée le 28 juillet 2010 au-dessus d'une région agricole au Sud-Ouest de Leipzig (Allemagne) en position « NADIR » (« N ») (capteur à la verticale du lieu enregistré). L'extension « .BIN » signifie que l'image est codée en binaire.

Différents fichiers accompagnent ce fichier image :

- « **QuicklookCEF4\_Leipzig\_2010-07-28.jpg** », une illustration jpeg basse résolution de l'image aussi appelé « Quicklook » pour avoir un aperçu rapide de l'image sans devoir utiliser un programme spécialisé.
- « **Info Chris wavelengths.xls** », fichier Excel listant chacune des 62 bandes de l'image avec les longueurs d'ondes et les couleurs visibles approximatives correspondantes
- « **CH100728\_N.HDR** », fichier texte correspondant au fichier header (entête) créé dans le logiciel ENVI
- « **Readme.txt** », fichier texte donnant quelques informations supplémentaires sur l'image (nombre de lignes et de colonnes, système de coordonnées, format, etc)

## 7.3.2. Manipulations et analyses à partir de l'image hyperspectrale

### 7.3.2.1. Compositions colorées de l'image hyperspectrale

A l'aide des indications ci-dessous, découvrez l'image CHRIS-PROBA via son ouverture dans QGIS et la réalisation d'une ou plusieurs compositions vraies couleurs et éventuellement une ou plusieurs compositions fausses couleurs.

- **Ouvrez le projet QGIS « HYPERSPECTRAL.qgz »** préalablement créé pour vous ou créez un nouveau projet QGIS par vous-même.
  - Notez que le SCR de l'image CHRIS-PROBA est le système « **EPSG:32632 - WGS 84 / UTM zone 32N** » (clic-droit sur l'image > Propriétés... > Information > SCR) (information aussi partiellement disponible dans le fichier texte « **readme.txt** »). Ce SCR a été utilisé comme SCR du projet QGIS (Projet > Propriétés... > SCR)
- Ajoutez l'image « **CH100728\_N.BIN** » dans votre projet QGIS si elle n'est pas encore présente dans votre projet
- Constatez que cette image est composée de **62 bandes spectrales** via :
  - Clic-droit sur l'image dans le panneau « Couches » de QGIS > Propriétés... > Symbologie > Rendu des bandes raster > Les menus déroulants des 3 canaux RGB présentent les 62 bandes spectrales
- Réalisez une ou plusieurs **compositions vraies couleurs** de l'image en vous aidant de la feuille Excel « **Info Chris wavelengths.xls** » ou de la Figure 66 ci-dessous pour trouver la correspondance entre numéro de bande spectrale et les couleurs Rouge, Vert et Bleu.
  - La combinaison **R = 21, G = 14, B = 5** est un bon exemple de composition vraies couleurs (Figure 66)

- Remarquez que **plusieurs combinaisons sont possibles** étant donné que plusieurs bandes spectrales correspondent à chacune des 3 couleurs Rouge, Vert et Bleu (Figure 66).
- Identifiez rapidement quelques **classes d'occupation du sol** dont de la végétation cultivée (champs cultivés), de la terre (champs nus), de l'eau (lac) et remarquez la présence importante de **nuages** sur l'image.



COULEUR VISIBLE	NUMERO DE BANDE	Longueur d'onde centrale	Largeur de bande [nm]
	1	409.7	18.5
	2	441.3	17.9
	3	451.2	16.9
	4	460.9	17.5
	5	471.1	18
	6	480.8	16.3
	7	489.9	16.8
	8	499.4	17.2
	9	509.3	17.8
	10	519.9	18.3
	11	529.6	16.1
	12	539.9	19.6
	13	550.9	17.2
	14	560.8	17.7
	15	571.2	18.3
	16	580.4	15
	17	590	19.3
	18	602.1	19.9
	19	612.7	16.2
	20	621.6	16.5
	21	630.7	16.9
	22	640.2	17.2
	23	650.2	17.5
	24	660.4	18
	25	671.1	18.3
	26	679.3	13.1
	27	685	13.2
	28	690.7	13.3
	29	696.6	13.5
	30	702.5	13.5

Figure 66 : Exemple de composition vraies couleurs de l'image hyperspectrale CHRIS PROBA (R = 21, G = 14, B = 5) (gauche) et table décrivant les 30 premières (sur un total de 62) bandes spectrales de l'image CHRIS PROBA avec en particulier les longueurs d'ondes et les couleurs visibles approximatives correspondant à chacune des bandes (droite).

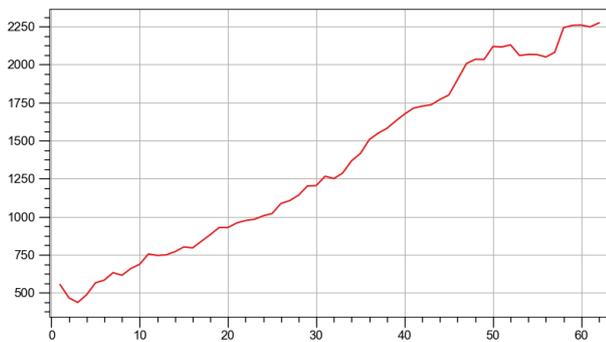
### 7.3.2.2. Affichage de la signature spectrale de différentes occupations du sol

A l'aide des indications ci-dessous, constatez la variation des signatures spectrales pour différentes occupation du sol et pour les nuages.

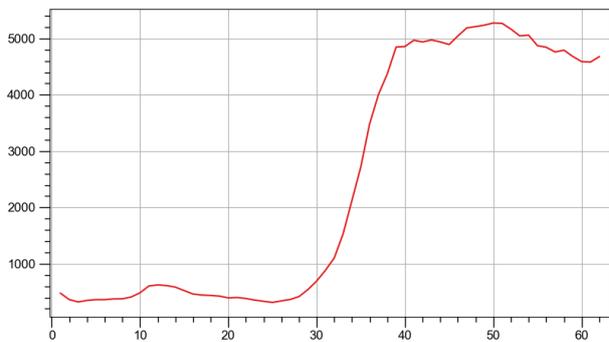
Plusieurs extensions de QGIS permettent d'extraire la signature spectrale d'un pixel ou d'un groupe de pixels (via un polygone) d'une image, de manière interactive et son affichage sous la forme d'un graphique (Figure 67).

Afin de consulter de manière interactive la signature spectrale (composée par les 62 bandes spectrales de l'image CHRIS-PROBA) de différentes occupations du sol présentes au sein de l'image :

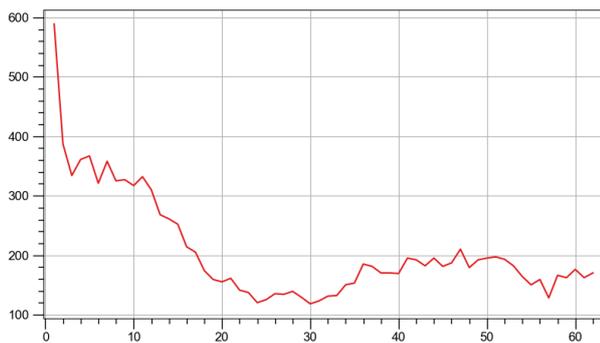
- Installez l'extension QGIS « **Temporal/Spectral Profile Tool** » qui, après installation, est disponible sous la forme du bouton  ou dans le menu « Extension > Profile Tool > Temporal/Spectral Profile » (Menu Extension > Installer/Gérer les extensions > Recherche et installation de l'extension)
- (Remarque : une autre extension permettant également de réaliser un graphique de la signature spectrale est l'extension « **RasterDataPlotting** » . Cette extension est utilisée dans la section suivante pour la réalisation d'un graphique de type nuage de points)
- Utilisez l'extension QGIS « **Temporal/Spectral Profile Tool** » pour consulter de manière interactive la signature spectrale de différentes occupations du sol présentes au sein de l'image (Figure 67)



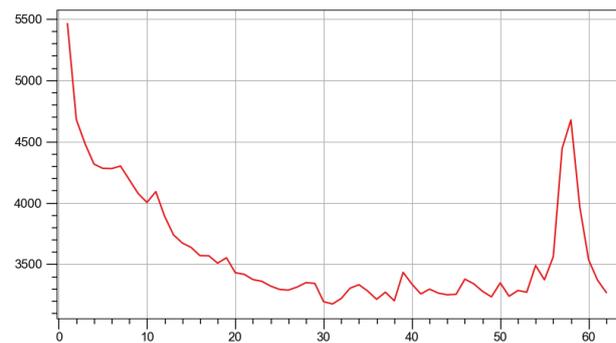
Sol nu



Végétation



Eau



Nuage

**Figure 67 : Signatures spectrales obtenues pour 3 occupations du sol et pour les nuages à partir de l'image hyperspectrale CHRIS-PROBA composée de 62 bandes spectrales.**

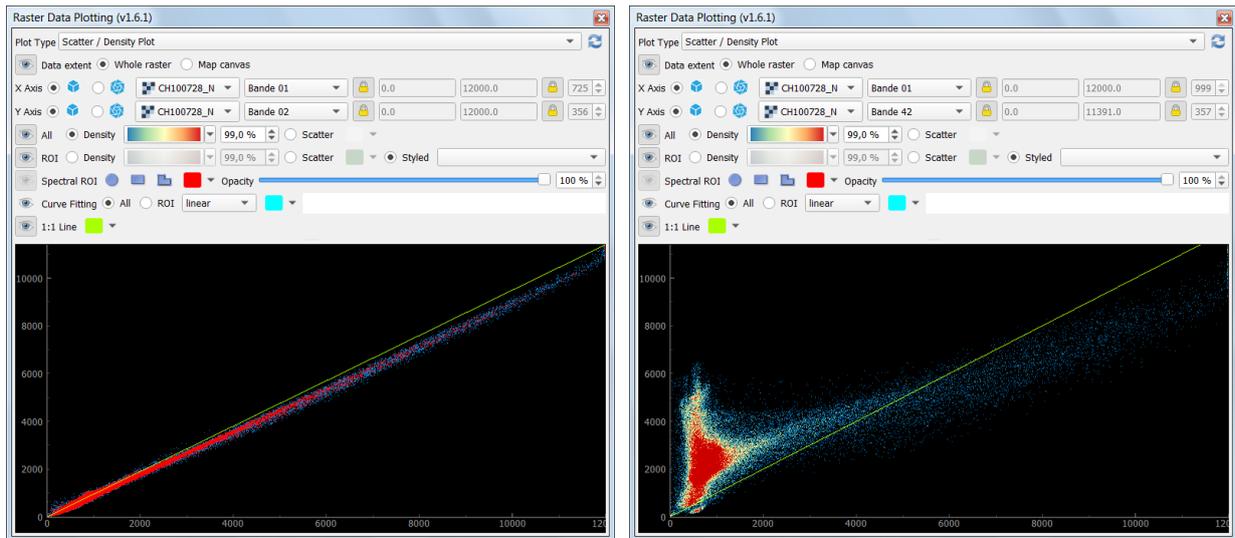
### 7.3.2.3. Graphique 2D de bandes spectrales 2 à 2

A l'aide des indications ci-dessous, réalisez 2 graphiques de type « nuage de points » comparant les valeurs des pixels de l'image hyperspectrale pour 2 bandes spectrales proches et 2 bandes spectrales éloignées et comprenez leur interprétation.

- Installez l'**extension QGIS « RasterDataPlotting »** qui, après installation, est disponible sous la forme du bouton  (Menu Extension > Installer/Gérer les extensions > Recherche et installation de l'extension)
- Utilisez cette extension pour réaliser **2 graphiques de type « nuage de points »** (anglais : « scatter plot ») comparant les valeurs des pixels (axes X et Y) de l'image hyperspectrale pour (Figure 68):
  - **2 bandes spectrales proches** : bandes 1 et 2 par exemple
  - **2 bandes spectrales éloignées** : bandes 1 et 42 par exemple
- Il peut être opportun de réaliser un « Clic-droit > Zoomer sur la couche » à partir de l'image hyperspectrale dans le panneau « Couches » afin d'obtenir une meilleure représentation graphique.
- Quelles différences observez-vous entre ces 2 graphiques ? Comment les expliquez-vous ?

Le **nuage de points du graphique des bandes spectrales 1 et 2 est très « aplati »** sur la « diagonale  $X = Y$  » car les valeurs de pixels de ces 2 bandes sont extrêmement proches ou « extrêmement corrélées » (Figure 68, gauche). 2 bandes spectrales proches sont quelque part assez redondantes étant donné qu'elles portent une information spectrale similaire.

Le **nuage de points du graphique des bandes spectrales 1 et 42 est très « éclaté »** car les valeurs de pixels de ces 2 bandes sont « très peu corrélées » (la variation des valeurs de pixels de la bande 1 ne correspond pas à une variation similaire des valeurs de pixels de la bande 42) (Figure 68, droite). 2 bandes spectrales distantes ne sont pas redondantes car elles portent chacune une information spectrale différente/particulière. 2 bandes spectrales distantes seront donc plus riches en information et donc plus intéressantes pour caractériser une occupation du sol donnée que 2 bandes spectrales proches.



**Figure 68 : Graphiques de type « nuage de points » (anglais : « scatter plot ») pour l'ensemble de l'image CHRIS-PROBA pour les bandes spectrales 1 et 2 (gauche) et 1 et 42 (droite), réalisés avec l'extension « Raster Data Plotting » de QGIS**

### 7.3.2.4. Cube hyperspectral

Il n'y a pas de manipulation à réaliser. Comprenez simplement comment interpréter un cube hyperspectral.

QGIS ne permet pas de réaliser un cube hyperspectral. Un exemple est simplement présenté à la Figure 69.

Un cube hyperspectral peut être réalisé à partir d'images hyperspectrale aérienne ou satellite par exemple. L'axe de **la 3<sup>ème</sup> dimension correspond aux longueurs d'ondes du spectre électromagnétique**. La **couleur des faces du cube de cette 3<sup>ème</sup> dimension** varie en fonction de la valeur mesurée par le capteur (par exemple: radiance, réflectance etc) pour chaque longueur d'onde. Cette 3<sup>ème</sup> dimension permet donc de visualiser via une palette de couleurs la variation de réflectance (ou autre paramètre) selon les longueurs d'onde pour les occupations du sol présentes en bordure du cube.

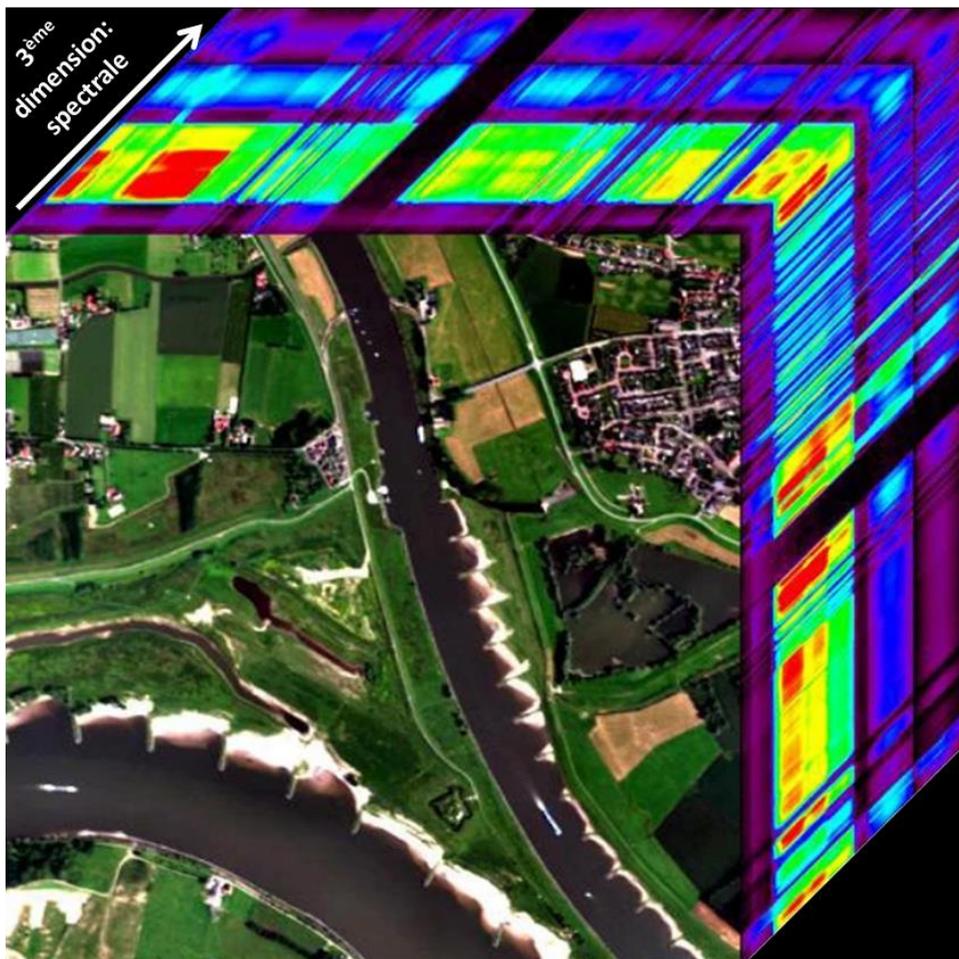


Figure 69 : Cube hyperspectral. La 3<sup>ème</sup> dimension du cube (la profondeur) correspond aux longueurs d'ondes du spectre électromagnétique. Illustration adaptée depuis : <https://www.droneogx.com/geospatial-imagery-analysis>.

### 7.3.2.5. Importance du « Fichier entête » ou « Header file »

A l'aide des indications ci-dessous, vérifiez par vous-même l'importance du « Fichier entête » (anglais «Header file») accompagnant l'image hyperspectrale en modifiant très légèrement l'un de ses paramètres et en constatant les modifications d'affichage induites.

Le « Fichier entête » (anglais « Header file») est un petit fichier texte accompagnant une image, qui contient une série d'information décrivant l'image, et qui permet à un logiciel de lire et d'afficher correctement cette image.

- Ouvrez le « Fichier entête » « CH100728\_N.HDR » de l'image CHRIS-PROBA avec le bloc note (fichier de type texte) et jetez-y un œil rapide (Figure 70 gauche). Remarquez que ce fichier contient notamment les informations sur le nombre de colonnes (« samples») et lignes (« lines») de pixels de l'image et sur le nombre de bandes spectrales (« bands») de l'image.
- Supprimez l'image CHRIS-PROBA de votre projet QGIS
- **Modifiez une information du « Fichier entête »**, par exemple en indiquant 500 lignes ou 601 colonnes et enregistrez cette modification.
- Ajoutez l'image CHRIS-PROBA dans votre projet QGIS
- **Constatez que QGIS n'affiche plus correctement l'image** CHRIS-PROBA suite à cette modification du « Fichier entête » (Figure 70 centre et droite).
- Faites la manipulation inverse pour corriger l'erreur introduite et afficher à nouveau correctement l'image CHRIS-PROBA dans QGIS.

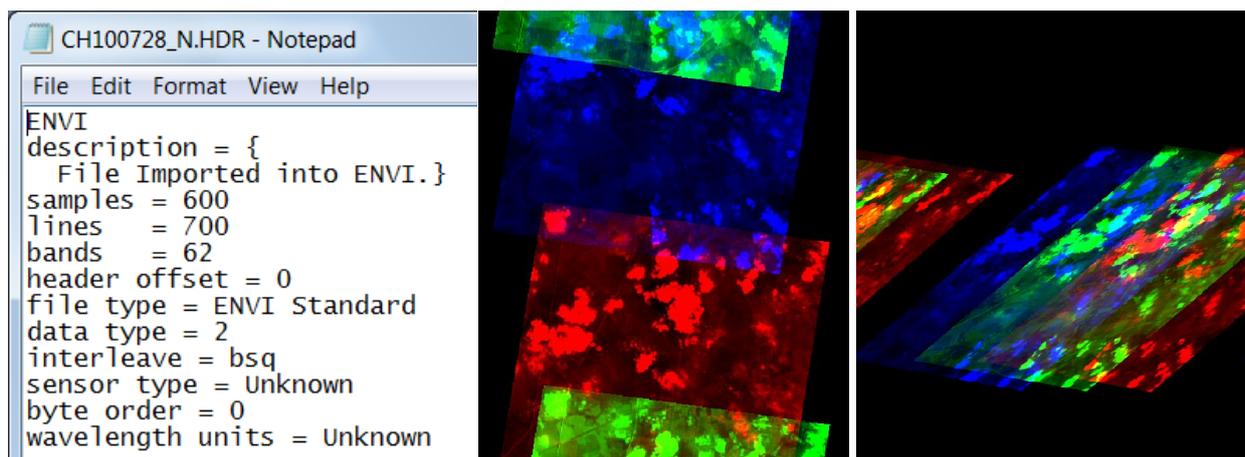


Figure 70 : « Fichier entête » (anglais : « Header file») de l'image CHRIS-PROBA contenant notamment l'information sur le nombre de colonnes (« samples») et lignes (« lines») de pixels de l'image (gauche) et affichage de l'image CHRIS-PROBA dans QGIS après modification de ce « Fichier entête » en indiquant les informations erronées suivantes : 600 colonnes/500 lignes/ (centre) et 601 colonnes/700 lignes (droite).

## 8. Classification supervisée d'images satellites multispectrales et analyse diachronique : méthode simple et méthode avancée (dans QGIS)

<b>Objectifs pédagogiques</b>	Maitriser la procédure complète (nombreuses étapes) de réalisation : <ul style="list-style-type: none"> <li>d'une <b>carte d'occupation du sol</b> par <b>classification supervisée</b> d'une image satellite multispectrale (Landsat-5 et Sentinel-2) (avec validation par matrice de confusion),</li> <li>d'une <b>analyse diachronique</b> à partir d'images satellites multispectrales (avec production d'une matrice de transition).</li> </ul>				
<b>Données &amp; Projet QGIS!</b>	<p>Les données nécessaires à la réalisation de cet exercice sont disponibles dans le dossier «...\\5_CLASSIFICATION_SUPERVISEE_ANALYSE_DIACHRONIQUE\...» (~ 455 MB).</p> <p>Téléchargez ce dossier sur votre ordinateur en local dans votre répertoire de travail et décompressez-le. ATTENTION ! Voyez la section 1.2 page 19 pour plus d'information sur l'accès aux données.</p> <p>Ces données sont décrites dans les sections 8.4 page 148 pour les données auxiliaires et section 8.5 page 157 pour les images satellites.</p> <p><b>Projet QGIS</b> : « CLASSIF_SUP_ANALYSE_DIA.qgz » situé dans ce même dossier.</p>				
<b>Logiciel ou application</b>	<b>QGIS 3.34 ou supérieur : la dernière version stable (3.34 LTR en avril 2024) est conseillée.</b> <a href="https://www.qgis.org/fr/site/forusers/download.html">https://www.qgis.org/fr/site/forusers/download.html</a>				
<b>Temps approximatif</b>	<table border="1"> <tr> <td>METHODE SIMPLE</td> <td>~ 4 à 6 heures</td> </tr> <tr> <td>METHODE AVANCEE</td> <td>~ 6 à 8 heures</td> </tr> </table>	METHODE SIMPLE	~ 4 à 6 heures	METHODE AVANCEE	~ 6 à 8 heures
METHODE SIMPLE	~ 4 à 6 heures				
METHODE AVANCEE	~ 6 à 8 heures				
<b>Prérequis</b>	Il est préférable mais non obligatoire que l'utilisateur ait déjà quelques notions de base en SIG (QGIS) et télédétection.				
<b>Dernière mise à jour</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>19/04/2024 (légère modification de la méthode simple, nouvelle procédure d'installation du plugin SCP)</li> </ul>				

## 8.1. INFORMATIONS PREALABLES IMPORTANTES !

### 8.1.1. METHODE SIMPLE & METHODE AVANCEE



Cette section numéro 8 est assez longue (~140 pages au total) et peut être parcourue selon **2 CHEMINS METHODOLOGIQUES** correspondant à une :

- **METHODE SIMPLE** de **CLASSIFICATION SUPERVISEE D'UNE SEULE image satellite (de type Landsat-5)** (+acquisition et prétraitement de l'image + représentation 3D + analyse de séparabilité spectrale des classes + validation + mise en page cartographique), **SANS ANALYSE DIACHRONIQUE**
  - **ATTENTION ! POUR LA METHODE SIMPLE :**
    - Les **titres de sections** utiles à sa réalisation sont surlignés en vert
    - Les **étapes méthodologiques** utiles à sa réalisation sont encadrées d'un halo vert dans le schéma méthodologique global de la **Figure 71**.
  - Cette méthode simple est présentée sur un total approximatif de **90 pages**
- **METHODE AVANCEE** de **CLASSIFICATION SUPERVISEE DE PLUSIEURS images satellites (de type Landsat-5 et Sentinel-2)** reprenant les étapes de la méthode simple ET EN ADDITION la réalisation de **traitements supplémentaires** (masques de nuages, construction d'une image désennuagée, reclassification conditionnelle) et la réalisation d'une **ANALYSE DIACHRONIQUE** (matrice de transition, graphiques d'évolution du paysage, etc)
  - L'ensemble des sous-sections de cette section 8 sont à considérer pour mener à bien la méthode avancée (**~140 pages**) à l'exception de quelques sections qui sont données à titre purement informatif.

La **METHODE AVANCEE** est **volontairement complexe**, ceci afin de montrer une large gamme (mais très loin d'être exhaustive) des méthodes potentiellement applicables à ce type d'analyse. Sachez cependant que nombre de manipulations peuvent se révéler **facultatives** dans certains cas et que leur utilisation devra donc être **adaptée** en fonction de vos données d'entrée, des objectifs de l'étude (classes d'occupation du sol d'intérêt, précision souhaitée), de la difficulté de la classification de la zone d'intérêt, etc. Dans certains cas, une classification supervisée d'images satellites ainsi qu'une analyse diachronique peuvent donc être conduites beaucoup plus directement si désiré.

### 8.1.2. Traitements déjà réalisés

Certains traitements de données ont déjà été effectués pour vous et les données résultantes sont mises à disposition dans les sous-dossiers du répertoire «...\5\_CLASSIFICATION\_SUPERVISEE\_ANALYSE\_DIACHRONIQUE\».

Ces étapes, reprises sous la forme d'**encadrés oranges dans la Figure 71**, sont clairement renseignées tout au long de la procédure et l'utilisateur pourra décider de :

- **Soit, pour gagner du temps** : repartir des données « prétraitées » mises à disposition
- **Soit, pour pratiquer l'ensemble de la procédure et un meilleur apprentissage** : refaire l'ensemble des étapes, indépendamment des données mises à disposition.

## 8.2. Introduction et objectifs

### 8.2.1. Objectifs

Cet exercice a pour **objectif principal** de donner à l'utilisateur les outils méthodologiques nécessaires que pour réaliser correctement :

- **Une carte d'occupation du sol par classification supervisée** d'image satellite multipsectrale haute résolution
- **Une analyse diachronique** (méthode avancée seulement) à partir de la classification supervisée de 2 images satellites multispectrales. L'**analyse diachronique** proposée permet d'identifier, de localiser et de mesurer la superficie des classes d'occupation du sol et d'analyser leur évolution dans le temps. L'analyse ne concerne pas la production d'indices paysagers tels que le nombre de taches, la taille des taches, etc.

Nombre de commentaires sont fournis sur les éléments auxquels il faut faire attention pour réaliser une analyse méthodologiquement valide, sur les limitations de l'approche et sur les pistes d'amélioration possible.

### 8.2.2. Etapes méthodologiques principales

Les principales étapes de la méthodologie sont reprises ci-dessous et à la **Figure 71**. Une vision plus détaillée de toutes les étapes est disponible via la table des matières disponible en début de manuel. Ces étapes comprennent en particulier et chronologiquement :

METHODE SIMPLE	Etapas supplémentaires pour la METHODE AVANCEE
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Acquisition</b> des données à analyser via recherche sur internet et téléchargement : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>1 image satellite multispectrale Landsat-5</b></li> <li>○ <b>Modèle Numérique de Terrain (MNT)</b> (pour la représentation 3D)</li> <li>○ <b>Données auxiliaires</b> telles que données climatiques, shapefile et informations contextuelles</li> </ul> </li> <li>• <b>Prétraitements</b> sur l'image Landsat-5 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sélection des bandes spectrales,</li> <li>○ Découpage spatiale,</li> </ul> </li> <li>• <b>Prétraitements</b> sur le raster d'altitude <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fusion,</li> <li>○ Reprojection,</li> <li>○ Découpage spatiale,</li> <li>○ Rééchantillonnage</li> </ul> </li> <li>• Observation des images en 2D et en 3D et identification des classes d'occupation du sol</li> <li>• Sélection des zones d'entraînement (ROI de calibration)</li> <li>• Classification supervisée</li> <li>• Séparabilité spectrale des classes</li>   <li>• Validation de la classification supervisée par matrice de confusion</li> <li>• Mise en page cartographique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Acquisition</b> des données à analyser via recherche sur internet et téléchargement : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>2 images satellites multispectrales Sentinel-2</b></li> </ul> </li> <li>• <b>Prétraitements</b> sur les images Sentinel-2 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Conversion en réflectance, sélection des bandes, découpage spatiale, rééchantillonnage</li> <li>○ Gestion des nuages : masque de nuages, mosaïquage, etc</li> </ul> </li>   <li>• Amélioration de la classification par <b>reclassification conditionnelle</b> en fonction de l'altitude et de la proximité aux rivières</li> <li>• <b>Post-traitements</b> (filtre spatiale,...)</li> <li>• Réalisation d'une <b>matrice transition</b></li> <li>• Réalisation de <b>graphiques</b> (camembert et histogramme) exprimant l'évolution de l'occupation du sol</li> </ul>

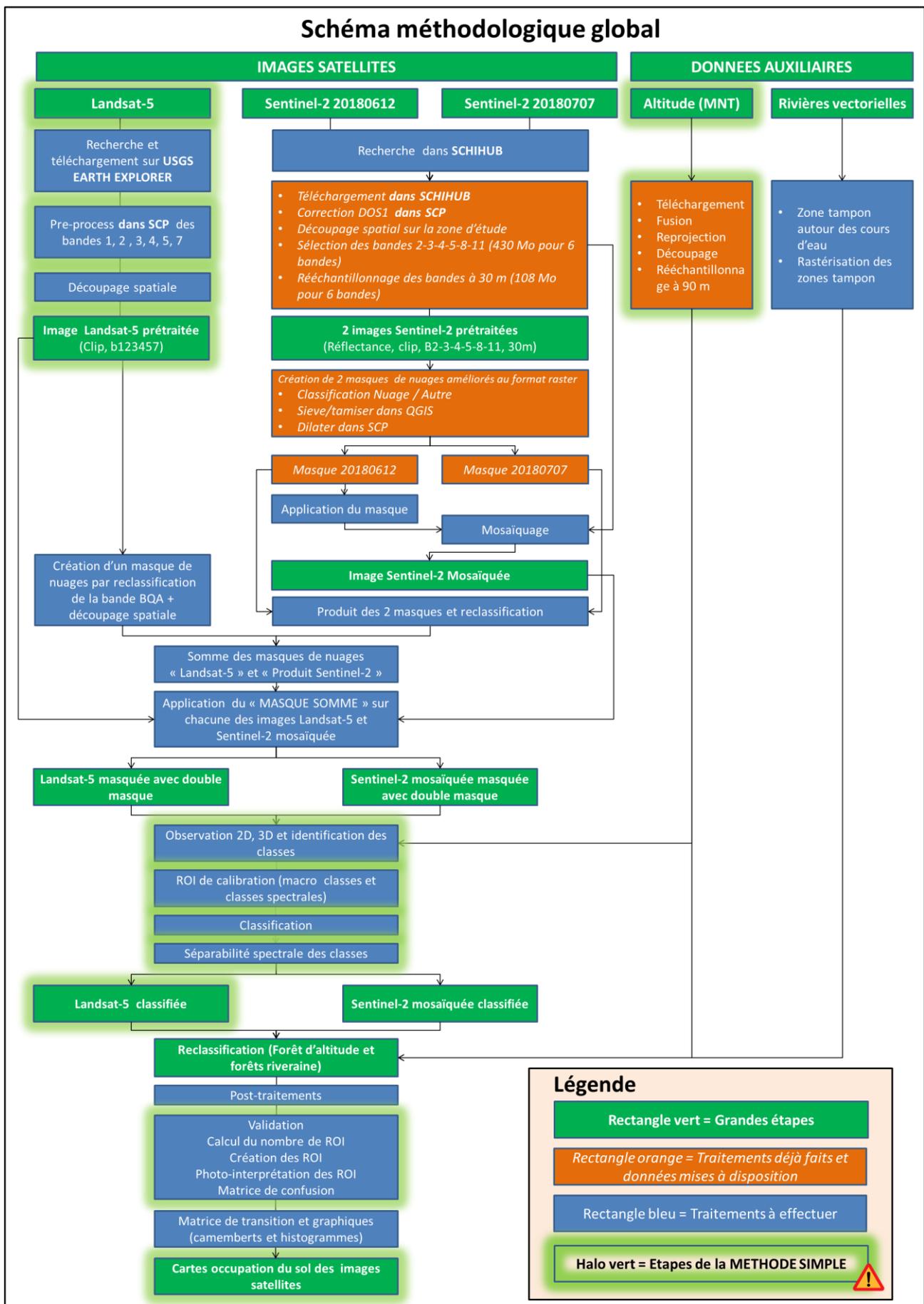


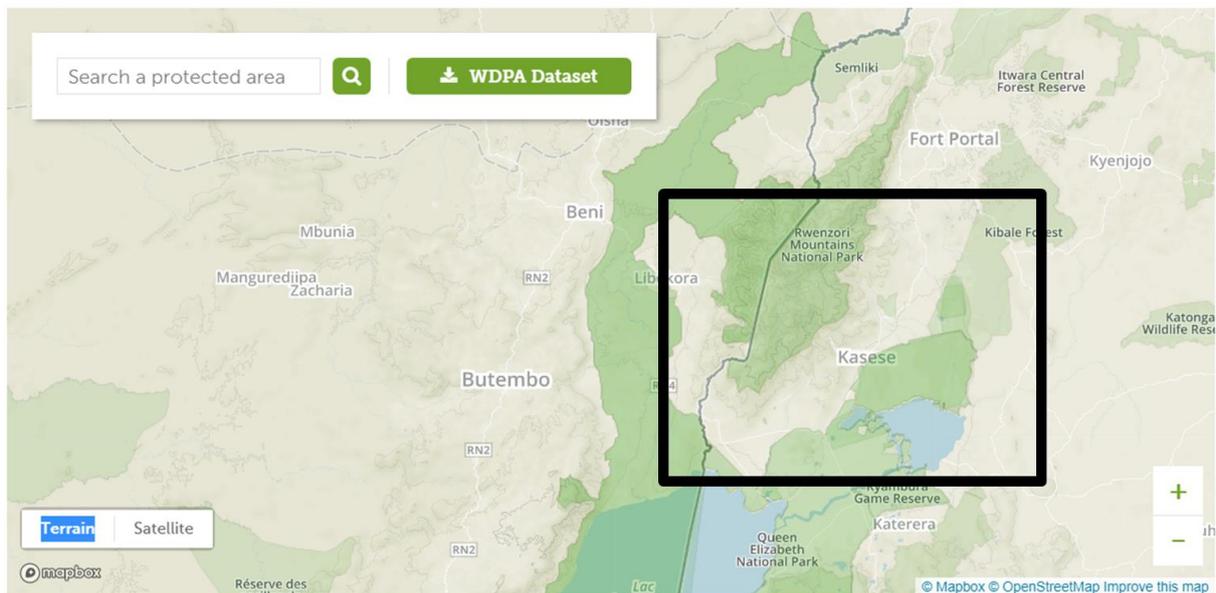
Figure 71 : Etapes méthodologiques de la section 8 de ce manuel concernant la classification supervisée d'images satellites multispectrales et l'analyse diachronique.

### 8.2.3. Choix du logiciel : QGIS 3.34 ou version ultérieure

- Le logiciel **QGIS (version 3.34 ou ultérieure)**, a été sélectionné car il est gratuit et permet de réaliser toutes les opérations de la méthode développée dans cette section dans un seul environnement, ce qui est assez confortable.
  - QGIS est disponible ici <https://www.qgis.org/fr/site/forusers/download.html>
  - La dernière version stable du logiciel est conseillée (3.34 LTR en avril 2024).
  - A télécharger et installer si ce n'est pas encore fait sur votre ordinateur.
- En particulier, le **plugin « Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) »** de QGIS permet de réaliser un grand nombre d'étapes clefs.
  - La dernière version du plugin doit être installée, après installation de QGIS.
  - La procédure d'installation du plugin est renseignée plus loin.

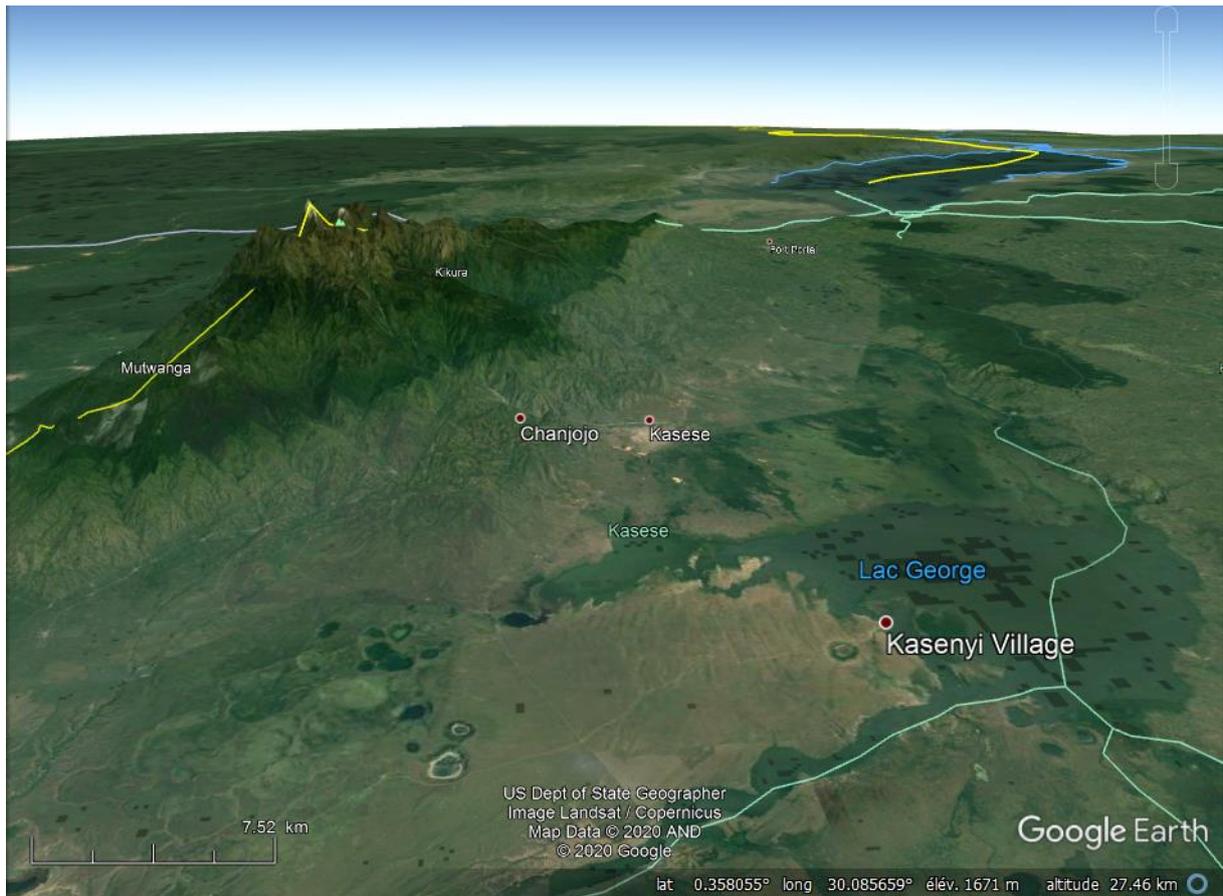
### 8.2.4. Contextualisation

La **zone étudiée** se situe dans la région de la ville de Kasese en Ouganda (Afrique de l'Est), à la frontière Est de la République Démocratique du Congo (RDC) et contient de nombreuses zones protégées (Figure 72), dont le « Parc national Rwenzori Mountains » dans la partie Nord-Ouest (Figure 72 et Figure 73).



**Figure 72 : Localisation de la zone d'étude (rectangle noir) : région de la ville de Kasese en Ouganda (Afrique de l'Est)**

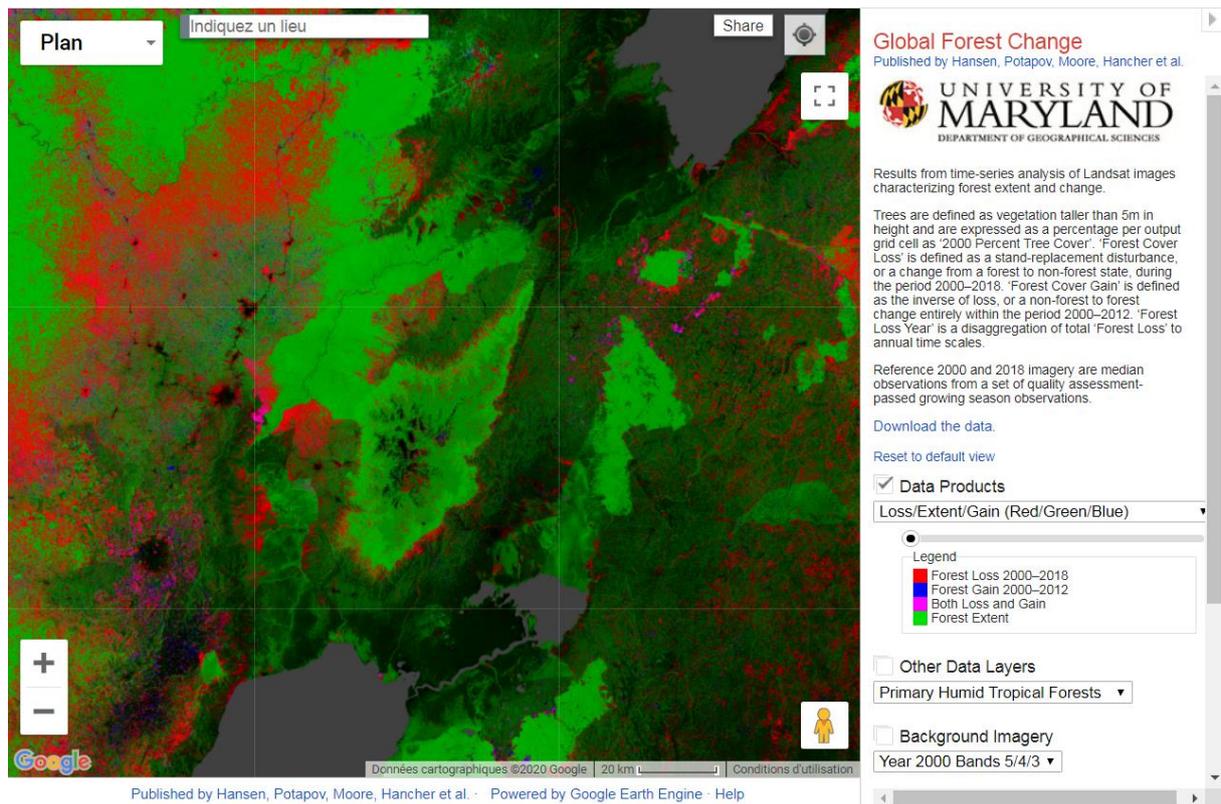
Un aperçu rapide de la **topographie de la zone d'étude** peut être obtenu facilement via l'application « **Google Earth Pro** » (Figure 73) déjà présentée à la section 3 page 33 (installation et utilisation de « Google Earth Pro »).



**Figure 73 : Aperçu de la zone d'étude dans Google Earth Pro**

Une idée de **l'évolution de la couverture forestière** dans la zone d'étude (Figure 74) est disponible via l'application « **Global Forest Change** » de la « **University of Maryland** » disponible via le lien ci-dessous et déjà présentée à la section 6.4 page 102.

- <https://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>



**Figure 74 : Aperçu de l'étendue, des pertes et des gains de la couverture forestière entre 2000 et 2018 dans la zone d'étude via l'application « Global Forest Change » de la « University of Maryland ».**

## 8.3. Préparation du projet QGIS

### 8.3.1. Création d'un nouveau projet QGIS ou ouverture du projet QGIS préexistant

Après avoir lancé l'application « QGIS Desktop » et une fois l'interface de QGIS ouverte, choisissez une des 2 méthodes proposées ci-dessous:

- **Soit, pour pratiquer l'ensemble de la procédure :**
  - **Créez un nouveau projet QGIS** via le menu « Projet > Nouveau »
  - **Définissez le système de coordonnées** du projet QGIS sur base des indications fournies à la section suivante (section 8.3.2 page 143). Dans le cas de cet exercice (ville de Kasese, Ouganda), utilisez le SCR « EPSG32635 - WGS84 UTM Zone 35N - projeté » (Menu Projet > Propriétés... > SCR > sélection du SCR d'intérêt)
  - **Ajoutez** dans ce projet **les données suivantes** disponibles dans le dossier « 5\_CLASSIFICATION\_SUPERVISEE\_ANALYSE\_DIACHRONIQUE\DATA\DONNEES\_AUXILIARES\ » (ces données sont décrites à la section 8.4 page 148):
    - « ne\_50m\_admin\_0\_countries\_EPSG32635.shp » (vecteur)
    - « ZONE\_ETUDE\_KASESE.shp » (vecteur)
    - « SRTM\_FUSION\_EPSG32635\_CLIP\_90m.tif » (raster)
    - « RIVIERES.shp » (vecteur) (Méthode avancée seulement)
    - « RIVIERES\_TAMPON\_60\_m.shp » (vecteur) (Méthode avancée seulement)
    - « RIVIERES\_TAMPON\_60\_m\_RASTER.tif » (raster) (Méthode avancée seulement)
  - Si ce n'est pas encore fait, installez **l'extension QGIS « QuickMapServices »** et ajoutez le service « **Google Satellite** » (fond de carte correspondant aux images Google satellite) dans votre projet QGIS, comme décrit à la section 6.1 page 95.
  - **Organisez les différentes données** disponibles correctement dans le panneau « Couches » et adaptez éventuellement leur symbologie (« clic-droit sur la couche > Propriétés... > Symbologie »).
  - **Sauvegardez ce projet QGIS** dans votre répertoire de travail via le menu « Projet > Enregistrer sous... » et nommez ce projet (exemple : « Classification\_votre\_nom.qgz »).

- Soit, pour gagner du temps :
  - Ouvrez le projet QGIS « CLASSIF\_SUP\_ANALYSE\_DIA.qgz » préalablement préparé pour vous (Figure 75) et disponible dans le dossier « 5\_CLASSIFICATION\_SUPERVISEE\_ANALYSE\_DIACHRONIQUE », via le menu « Projet > Ouvrir... ». Ce projet contient déjà une série de données correctement organisées et est exprimé dans le bon système de coordonnées. Si l'extension QGIS « QuickMapServices » n'est pas encore installée sur votre ordinateur, vous devrez l'installer, confer indications à la section 6.1 page 95.

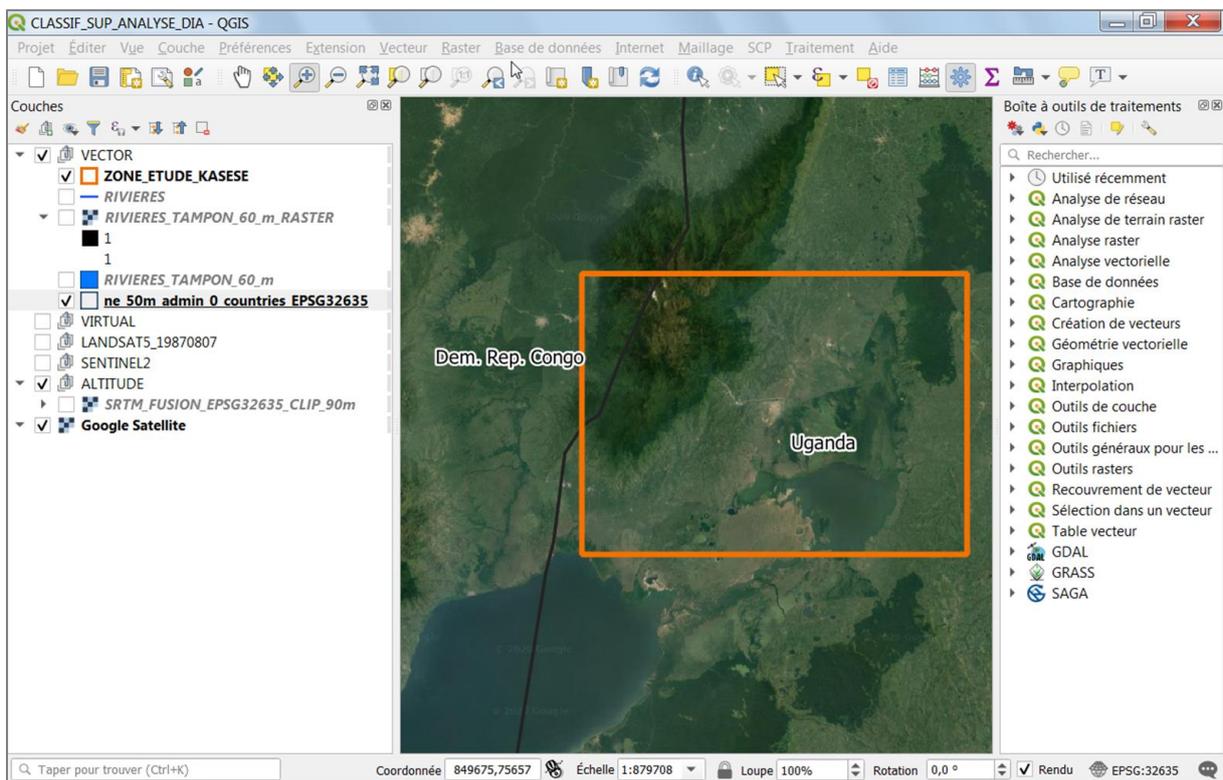


Figure 75 : Aperçu du projet QGIS mis à disposition « CLASSIF\_SUP\_ANALYSE\_DIA.qgz » mettant en évidence la zone d'étude

### 8.3.2. Identification du système de coordonnées à utiliser



**Attention !** En plus des consignes données à la section 1.2 page 19 (répertoire de travail et noms de fichiers pas trop longs et sans caractère spécial (à, é, è, -, etc) ou espace), il est nécessaire, pour le bon fonctionnement de certains outils :

- Que tous les fichiers de données géographiques (shapefile et images) et le projet QGIS soient tous exprimés dans le même **Système de Coordonnées de Référence (SCR)**

(Comme indiqué ici: <https://fromgistors.blogspot.com/p/online-help.html?spref=scp>)

**Attention !** Les images satellites Landsat-5 et Sentinel-2 utilisées dans le cadre de cet exercice pour la zone d'intérêt (ville de Kasese en Ouganda) sont toutes fournies, lors du téléchargement sur internet, dans le SCR « **EPSG32635 - WGS84 UTM Zone 35N - projeté** ». Cette information est disponible (vous pourrez le vérifier une fois les images satellites acquises, confer section 8.5 page 157):

- Soit via les **fichiers de métadonnées** accompagnant les images lorsqu'elles sont téléchargées de manière classique
  - Par exemple, pour une image Landsat-5, on retrouve cette information dans le fichier de type texte qui se termine par « MTL.txt » en fin de texte (« DATUM = "WGS84", ELLIPSOID = "WGS84", UTM\_ZONE = 35 »).
- Soit via un **clic-droit** sur les bandes spectrales des images une fois celles-ci ajoutées dans QGIS > **Propriétés... > Information > SCR**

Nous adopterons donc, dans ce cas-ci, le SCR mentionné ci-dessus pour l'ensemble du projet QGIS:

- Pour le **projet QGIS** en tant que tel. Pour définir le SCR du projet QGIS :
  - Cliquez sur le menu QGIS « Projet > Propriétés...> SCR » et choisissez le SCR d'intérêt.
- Pour les **données géographiques images et vecteurs** ajoutées dans ce projet. Note : si vous deviez changer le SCR d'une donnée géographique qui présente un autre SCR que le SCR d'intérêt, utilisez les fonctions de Reprojection suivantes dans QGIS :
  - Pour les **vecteurs** : menu « Vecteur > Outils de gestion de données > Reprojecter une couche... »
  - Pour les **rasters** (images): menu « Raster > Projections > Projection (warp)... »

### 8.3.3. Présentation et installation du plugin « Semi-Automatic Classification Plugin » (SCP)

Le plugin permettant de réaliser une classification supervisée dans QGIS est le « **Semi-Automatic Classification Plugin** » (SCP). Ce plugin présente un grand nombre de fonctionnalités et sera utilisé pour la quasi-totalité des étapes de cet exercice.

La plupart des indications concernant spécifiquement l'utilisation du plugin SCP seront ici assez **sommaires**, dans un but de concision. Le lecteur intéressé pourra se référer au manuel officiel de SCP pour plus d'explications (disponible, en anglais seulement, via les liens ci-dessous) et en particulier aux tutoriaux officiels de SCP numéro 1 et 3.

**Site web officiel de SCP (en anglais)**

- <https://fromgistors.blogspot.com/>

## Manuel d'utilisateur officiel de SCP (en anglais)

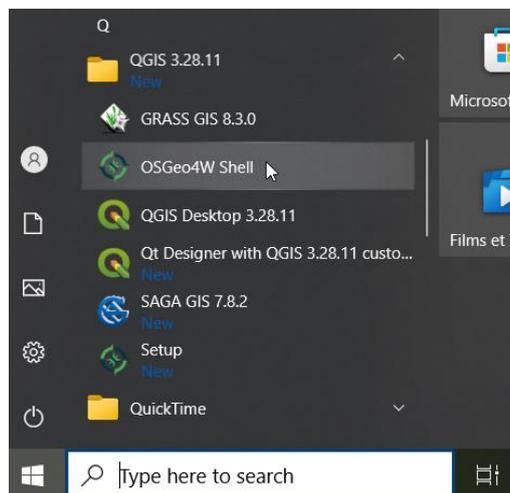
- <https://fromgistors.blogspot.com/p/user-manual.html?sref=scp>
- Ce manuel contient notamment **3 tutoriaux** dont :
  - [“Tutorial 1: Basic Land Cover Classification”](#) qui explique comment réaliser une **classification supervisée** d'une image satellite Landsat
  - [“Tutorial : Accuracy Assessment of a Land Cover Classification”](#) qui explique comment évaluer la **précision** d'une classification d'une image via la production d'une matrice de confusion) (ce tutoriel n'est plus accessible depuis la page web principale du manuel).

## La page web du plugin QGIS SCP (en anglais)

- <https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/>

## **! Pour installer le plugin SCP dans QGIS sans bug, voici la procédure spéciale à suivre :**

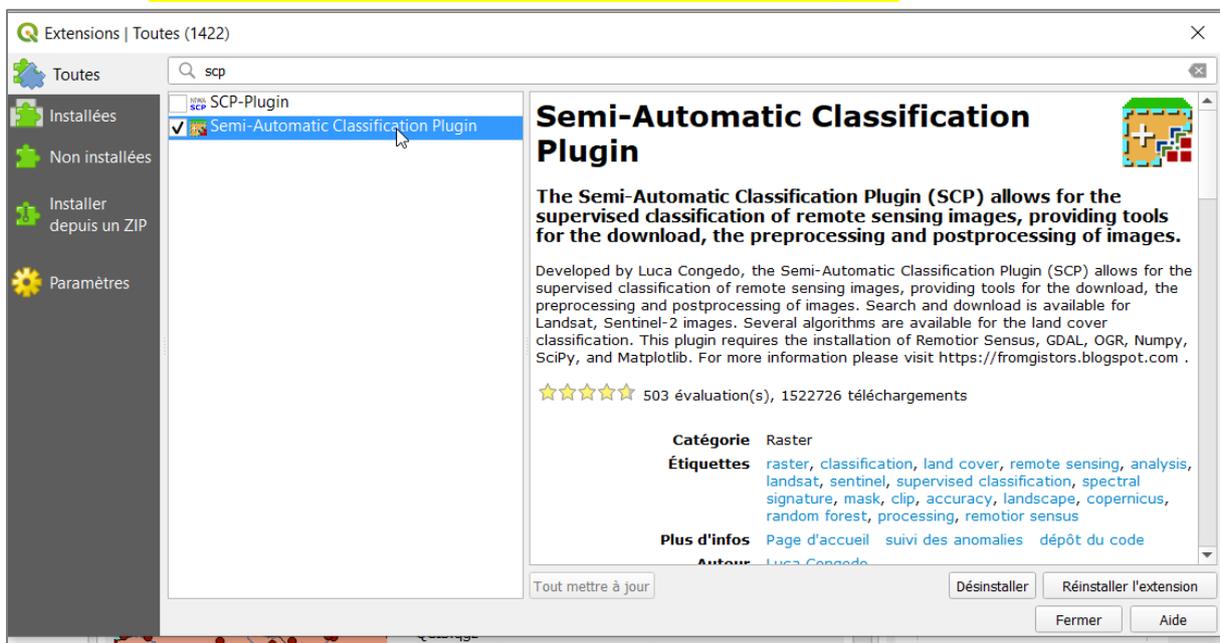
- Avoir installé QGIS (ça c'est déjà fait en principe).
- Fermer QGIS, ou ne pas l'ouvrir.
- Etre connecté à internet.
- **Démarrer le programme « OSGeo4W Shell »** qui s'est installé en même temps que QGIS, disponible dans les programmes de votre ordinateur, dans le dossier QGIS QGIS :



- Dans le panneau noir qui apparaît (confer image ci-dessous), vous devez coller la ligne de code suivante :
  - **pip3 install --upgrade remotior-sensus scikit-learn torch**
  - comme illustré ci-dessous, puis cliquer sur ENTER pour exécuter ce code

```
OSGeo4W Shell
run o-help for a list of available commands
C:\Program Files\QGIS 3.28.11>pip3 install --upgrade remotior-sensus scikit-learn torch_
```

- Attendre quelques minutes que l'installation se fasse et se termine (10 minutes devraient être suffisantes).
- Lorsque l'installation est terminée, vous pouvez fermer la fenêtre noire.
- Ouvrir QGIS.
- Installez, si ce n'est pas encore fait, le plugin « **Semi-Automatic Classification Plugin** » dans QGIS via le menu principal « Extensions » ou « Plugins ».
  - **Attention de ne PAS installer « SCP-Plugin » : c'est un autre Plugin !**
  - → Choisissez « Semi-Automatic Classification Plugin »



- Cette procédure d'installation est expliquée avec plus de détails et d'informations sur la page web suivante, mais en principe vous n'en avez maintenant plus besoin : [https://semiautomaticclassificationmanual.readthedocs.io/en/latest/installation\\_win64.html](https://semiautomaticclassificationmanual.readthedocs.io/en/latest/installation_win64.html)

Après installation, les fonctionnalités du plugin sont disponibles via (Figure 76):

- Le menu principal de QGIS « SCP » qui, lors de l'utilisation d'une fonction, ouvre automatiquement une nouvelle interface appelée « **Semi-Automatic Classification Plugin** ».
- 2 barres d'outils : une principale et une secondaire.

- Un **panneau latéral** appelé « **Menu SCP** », qui peut être ajouté comme panneau près du panneau « Couches » de QGIS pour plus de facilité, comme illustré à la Figure 76 (déplacez le panneau jusqu'à ce qu'il vienne se coller automatiquement au panneau « Couches »).

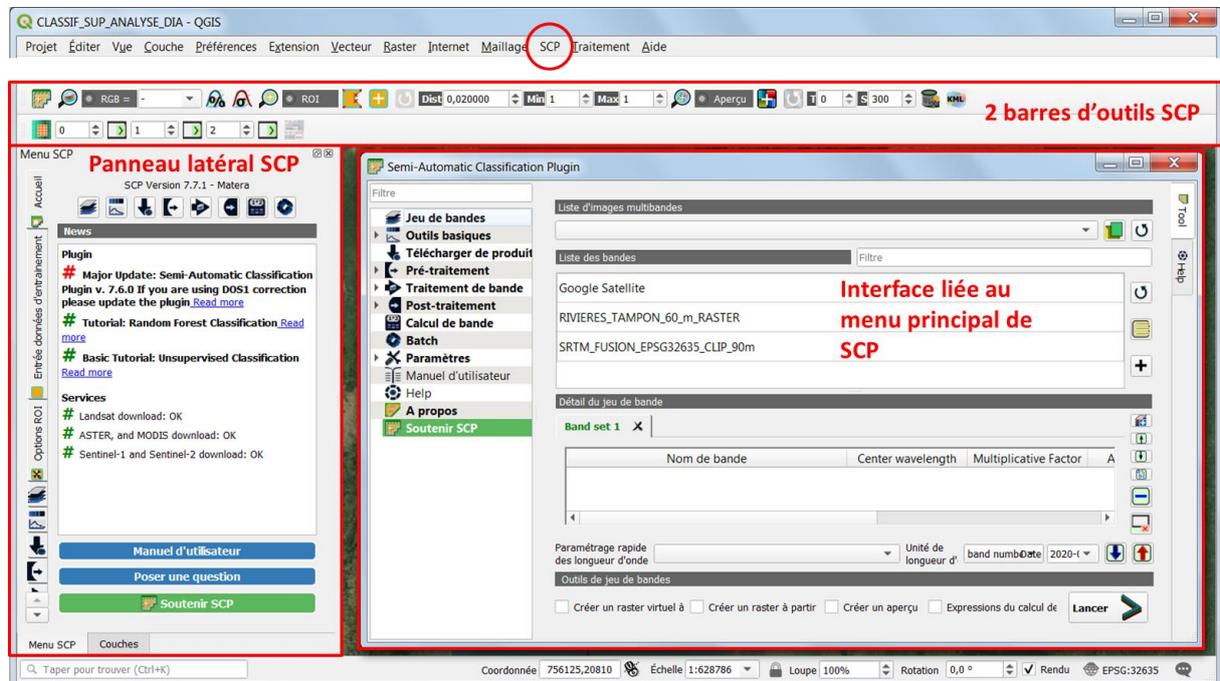


Figure 76 : Menu, barres d'outils, panneau latéral et fenêtre principale du plugin SCP

#### Remarques :

- L'**interface** du plugin évolue à chaque nouvelle version : il se peut donc que vous notiez quelques différences entre les illustrations de ce manuel et l'interface avec laquelle vous travaillerez personnellement. A vous de vous adapter.
- Si vous ne trouvez plus certains parties de l'interface du plugin SCP, vous pouvez toujours les faire réapparaître via le menu principal de QGIS : « **SCP > Show plugin** ».

## 8.4. Données auxiliaires : présentation, création, acquisition et prétraitements

### 8.4.1. Données auxiliaires vectorielles

Les données auxiliaires vectorielles utilisées sont :

- **Shapefile « ZONE\_ETUDE\_KASESE.shp »**
  - Shapefile délimitant la zone d'étude, exprimé dans le Système de Coordonnées de Référence (SCR) EPSG 32635
  - Shapefile créé pour cet exercice
- **Shapefile « ne\_50m\_admin\_0\_countries\_EPSG32635.shp »**
  - Shapefile des limites administratives des pays du monde, utile pour faciliter la localisation relative de la zone d'étude,
  - Shapefile téléchargé via le site web « Natural Earth » <https://www.naturalearthdata.com/downloads/> > Large scale data, 1:10m (meilleure résolution parmi les 3 disponibles sur ce site web : 1 cm = 100 km) > **Cultural** > Admin 0 – Countries > Download countries. A dézipper/décompresser après téléchargement et avant l'ajout dans QGIS (si vous vouliez le re-télécharger par vous-même).
- **Shapefile « RIVIERES.shp »** (Figure 77) (méthode avancée seulement)
  - Shapefile de quelques rivières principales dans la zone d'étude
  - Shapefile créé par numérisation rapide dans QGIS sur base d'une photo-interprétation du fond de carte « Google Satellite »
- **Shapefile « RIVIERES\_TAMPON\_60\_m.shp »** (Figure 77) (méthode avancée seulement)
  - Shapefile d'une zone tampon de 60 mètres de part et d'autre des rivières du fichier « RIVIERES.shp »
  - Shapefile créé à l'aide de la fonction QGIS « Vecteur > Outils de géotraitement > Tampon... »



Figure 77 : Aperçu des rivières numérisées et de leurs zones tampon de 60 m

## 8.4.2. Données auxiliaires raster

### 8.4.2.1. Raster d'altitude

Dans le cadre de cette étude, un **Modèle Numérique de Terrain (MNT)** sera utilisé.

Un MNT est un raster (image) dont la valeur des cellules ou pixels correspond à une information sur l'**altitude**.

Un MNT sera utilisé dans le cadre de cet exercice afin de :

- Réaliser une **représentation 3D** de la zone étudiée à partir des images satellites utilisées (confer section 8.7.5 page 234).
- **Reclassifier les forêts** de la zone en « Forêts de basse altitude » et « Forêts de haute altitude » (reclassification conditionnelle effectuée pour la « méthode avancée » seulement) (confer section 8.9.3 page 263).

Un MNT à 90 mètres de résolution spatiale découpé sur la zone d'étude et exprimé dans le SCR EPSG32635 est disponible dans le dossier « \5\_CLASSIFICATION\_SUPERVISEE\_ANALYSE\_DIACHRONIQUE\DATA\DONNEES\_AUXILIARES » sous le nom de

- « SRTM\_FUSION\_EPSG32635\_CLIP\_90m.tif ».

Vous pouvez :

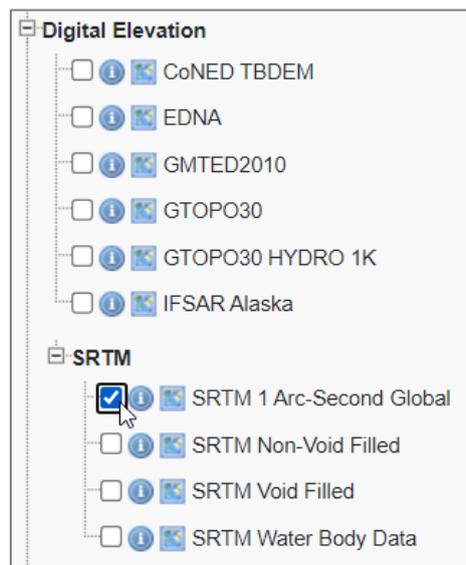
- **Soit, pour gagner du temps** : simplement utiliser ce MNT prétraité
- **Soit, pour pratiquer l'ensemble de la procédure et un meilleur apprentissage** : refaire l'ensemble des étapes ayant conduit à la production de ce MNT, comme détaillé ci-dessous.

La procédure suivie pour obtenir ce MNT est décrite ci-dessous.

#### 8.4.2.1.1. Téléchargement du Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Un MNT mondial à 30 mètres (~1 arc-second) de résolution spatiale est disponible gratuitement via le site web de référence suivant :

- <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Figure 78)
- En sélectionnant dans le menu « Data Sets » le type de donnée « Digital Elevation > SRTM > SRTM 1 Arc-Second Global »



#### ATTENTION !

- Des informations détaillées décrivant comment télécharger des données sur ce site web sont données dans la section 8.5.2.3 page 165 ci-dessous, avec pour exemple le téléchargement d'une image Landsat-5. Le principe est le même pour le téléchargement du MNT.
- Pour rechercher un MNT, **il faut qu'aucune période temporelle ne soit renseignée dans les critères de recherche dans l'onglet « Date Range »** (image ci-dessous). En effet, comme les données MNT ne sont pas associées à une date particulière, le fait de spécifier une période dans la fenêtre « Date Range » résulte en l'absence de résultat à votre requête de recherche de données MNT.

Search from:  to:

Search months:

Le MNT mondial (donnée très lourde) est mis à disposition au téléchargement sous la forme de très nombreux petits morceaux de MNT d'approximativement 111 km \* 111 km sur la zone d'étude, appelés « tiles » (données plus légères de ~25 Mo chacune (Figure 80)), afin de faciliter le téléchargement de MNT pour des régions particulières. La zone d'étude de cet exercice-ci est couverte par 4 « tiles » comme illustré aux Figure 78 et Figure 79. La résolution spatiale de ce MNT, c'est-à-dire la taille des pixels, est de 1 arc-seconde de côté (1 seconde d'arc = 1/36000 de degré = 0.00028 degré) ce qui correspond à ~30 mètres.

The screenshot shows the USGS EarthExplorer interface. On the left, under '4. Search Results', there are four data sets listed:

- 1. Entity ID: SRTM1N00E029V3, Publication Date: 23-SEP-14, Resolution: 1-ARC, Coordinates: 0, 29
- 2. Entity ID: SRTM1N00E030V3, Publication Date: 23-SEP-14, Resolution: 1-ARC, Coordinates: 0, 30
- 3. Entity ID: SRTM1S01E029V3, Publication Date: 23-SEP-14, Resolution: 1-ARC, Coordinates: -1, 29
- 4. Entity ID: SRTM1S01E030V3, Publication Date: 23-SEP-14, Resolution: 1-ARC, Coordinates: -1, 30

The map on the right shows the study area in East Africa, with the four tiles highlighted in green, orange, blue, and purple. The map includes labels for locations like Bunia, Fort Portal, Beni, Butembo, Kasere, Mbarara, and Lake Albert. The coordinates (01° 17' 26" N, 032° 35' 27" E) are displayed at the top of the map.

Figure 78 : Aperçu du positionnement des 4 « tiles » SRTM (MNT) couvrant la zone d'étude sur le site web <https://earthexplorer.usgs.gov/>

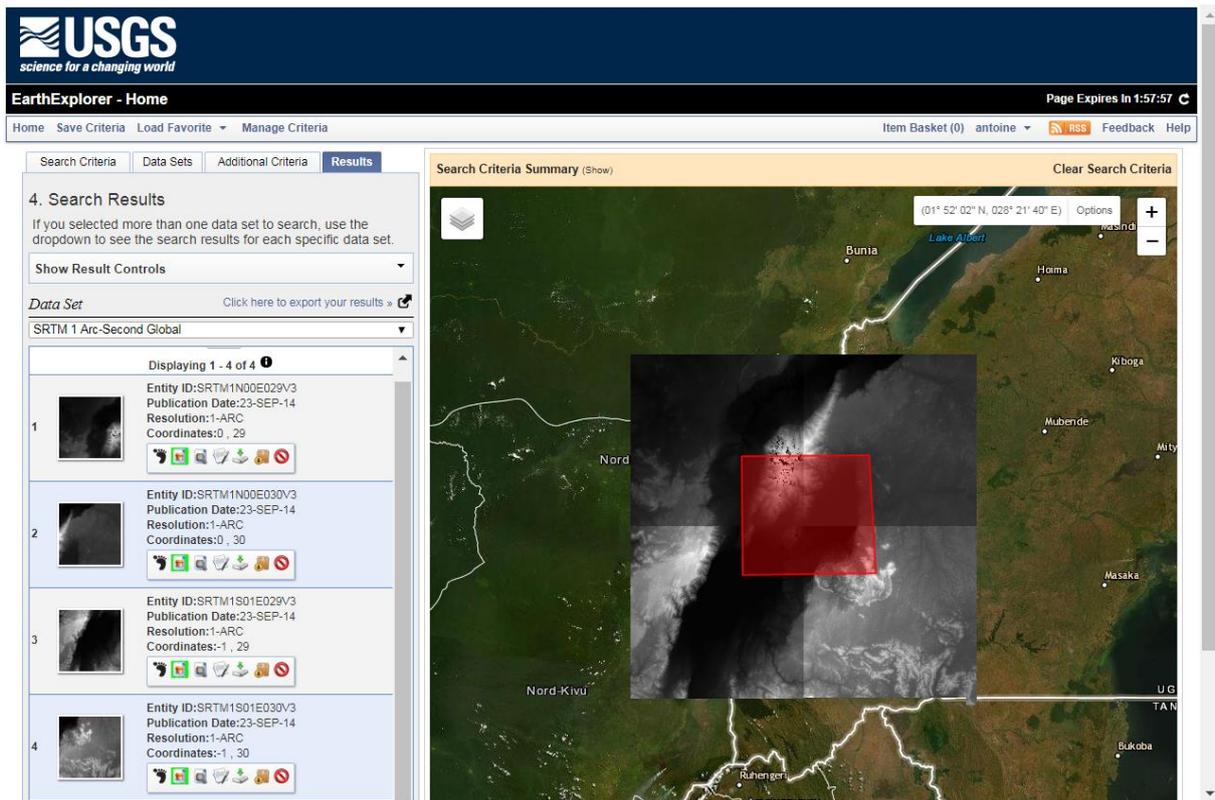


Figure 79 : Aperçu des 4 « tiles » SRTM (MNT) couvrant la zone d'étude sur le site web <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Name	Type	Size
 n00_e029_1arc_v3.tif	TIF File	25 357 KB
 n00_e030_1arc_v3.tif	TIF File	25 357 KB
 s01_e029_1arc_v3.tif	TIF File	25 357 KB
 s01_e030_1arc_v3.tif	TIF File	25 357 KB

Figure 80 : Aperçu des 4 « tiles » SRTM (MNT) couvrant la zone d'étude, dans l'explorateur Windows après téléchargement

Après **téléchargement**, les opérations reprises ci-dessous peuvent être réalisées afin d'obtenir un seul fichier raster d'altitude couvrant toute la zone d'étude et exprimé dans le même système de coordonnées que les images satellites utilisées dans le cadre de cet exercice-ci.

#### 8.4.2.1.2. Ajout des 4 MNT dans QGIS

- Ajoutez les 4 « tiles » MNT dans votre projet QGIS (via le menu d'ajout d'une couche raster)

Vous remarquerez que le MNT au Nord-Ouest de la zone d'étude (Figure 79) semble présenter quelques mauvaises données en montagne. En effet, au milieu du massif montagneux du « Parc national Rwenzori Mountains » (confer section 8.2.4 page 139), qui est identifié par des couleurs blanches (le blanc correspondant aux altitudes les plus élevées), quelques taches noires présentant une altitude de 0 sont présentes (le noir correspondant aux altitudes les plus faibles). Nous ignorerons ce problème potentiel dans le cadre de cet exercice. Remarque : ce problème persiste (un peu amoindri) dans la version « 3Arc void filled » du MNT.

#### 8.4.2.1.3. Fusion des 4 MNT

Afin d'obtenir un seul fichier MNT plus facilement manipulable que 4 « tiles » séparées, il faut fusionner les 4 « tiles ». Pour ce faire :

- Menu QGIS: **Raster > Divers > Fusionner...**
- Couches en entrée : sélectionner les 4 MNT
- Type : conserver Float32, valeur par défaut
- Fusionné : choisir l'option « Enregistrer vers un fichier... » puis le répertoire de sortie (votre répertoire de travail) et donner un nom (par exemple : « SRTM\_FUSION.tif »)

#### 8.4.2.1.4. Reprojection du MNT fusionné dans le bon système de coordonnées

Afin d'obtenir un MNT dans le même Système de Coordonnées de Référence (SCR) que celui qui a été choisi comme SCR à utiliser dans le cadre de cet exercice (pour rappel, c'est le SCR EPSG 32635, confer section 8.3.2 page 143), il faut **reprojeter le MNT fusionné** car celui-ci se trouve par défaut dans le SCR « EPSG:4326 - WGS 84 - Géographique » (pour le vérifier : cliquez-droit sur la couche MNT fusionnée > Propriétés > Information > SCR).

**Pour reprojeter le MNT fusionné dans le bon SCR :**

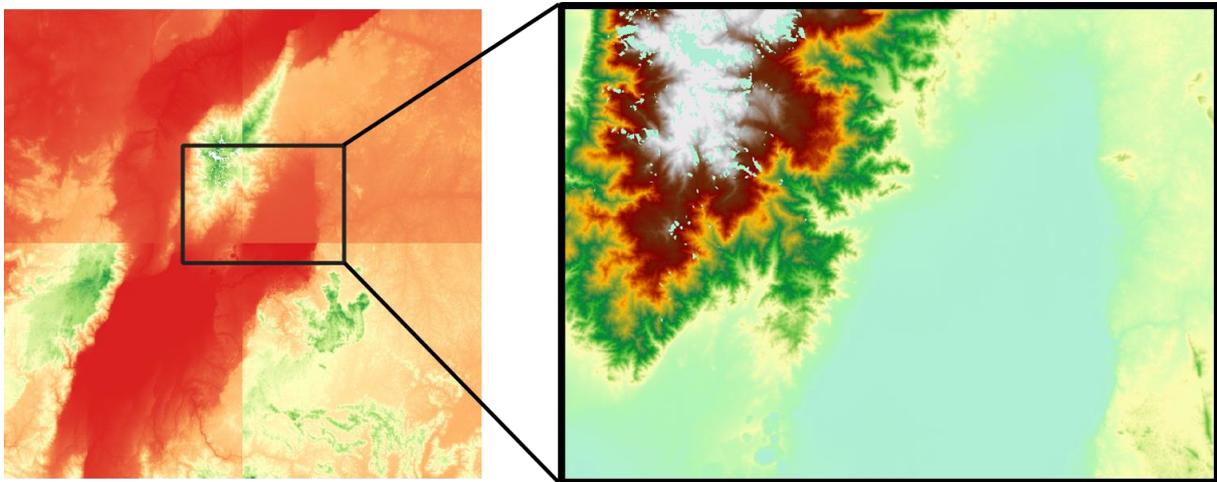
- Menu QGIS: **Raster > Projections > Projection (warp)**
- Couche en entrée : le MNT unique fusionné résultat de l'étape précédente
- SCR cible : choisir le système EPSG 32635
- Reprojété : choisir l'option « Enregistrer vers un fichier... » puis le répertoire de sortie (votre répertoire de travail) et donner un nom (par exemple : « SRTM\_FUSION\_EPSG32635.tif »)

#### 8.4.2.1.5. Découpage du MNT sur la zone d'étude

Afin d'obtenir un MNT qui ne couvre que la zone d'étude et qui sera donc plus léger et plus facilement manipulable qu'un MNT qui couvrirait une plus grande zone, il convient de **découper le MNT sur la zone d'étude** (Figure 81). Pour ce faire :

- Menu QGIS: **Raster > Extraction > Découper un raster selon une emprise...**
- Couche source : le MNT reprojeté résultat de l'étape précédente
- Etendue de découpage (xmin, xmax, ymin, ymax) :
  - > Utiliser l'emprise de la couche... : **utilisez le shapefile** identifiant la zone d'étude « ZONE\_ETUDE\_KASESE.shp », exprimé lui-aussi dans le SCR EPSG 32635. Attention, il faut que ce shapefile ait une **information « emprise » dans ses métadonnées** :
    - Cette information sur l'emprise est disponible via un clic droit sur cette couche dans le panneau Couches > Propriétés... > Information > Emprise.
    - Si cette information n'est pas présente, possibilité de créer cette métadonnée via un clic droit sur cette couche dans le panneau Couches > Propriétés... > Source > Mettre à jour l'emprise.
  - **Si vous n'avez pas de fichier shapefile** identifiant votre zone d'étude :
    - Soit **créez un fichier shapefile** de type polygone dans le SCR d'intérêt et éditez ce shapefile en y ajoutant un polygone qui couvre votre zone d'étude (méthode non détaillée dans ce manuel mais disponible dans le [manuel QGIS disponible ici](https://orbi.uliege.be/handle/2268/190559) : <https://orbi.uliege.be/handle/2268/190559>)
    - Soit **spécifiez manuellement** les valeurs des coordonnées géographiques définissant l'étendue de la zone d'étude comme indiqué : xmin, xmax, ymin, ymax où x fait référence à la longitude et y à la latitude, coordonnées exprimées dans le SCR et ses unités de la couche à découper, c'est-à-dire du MNT reprojeté dans ce cas-ci. Pour connaître ces coordonnées, autrement que via le calcul de l'emprise proposé ci-dessus, positionnez le curseur de la souris aux extrémités x et y de la zone d'étude : les coordonnées du pointeur de la souris s'affichent en bas de l'interface QGIS dans la boîte « Coordonnée ». Ces coordonnées s'affichent dans le SCR du projet QGIS (modifiable via le menu Projet > Propriétés... > SCR, choisir dans ce cas-ci EPSG 32635) et dans les unités choisies via le menu QGIS « Projet > Propriétés... > Général > Affichage des coordonnées > Afficher les coordonnées avec » : choisir dans ce cas-ci « Unités de carte (mètres) ». De cette manière vous obtenez les coordonnées du pointeur de la souris dans le SCR du projet QGIS, qui est le même que le SCR du MNT reprojeté, et dans ses unités (des mètres).

- Découpé (étendue) : choisir l'option « Enregistrer vers un fichier... » puis le répertoire de sortie (votre répertoire de travail) et donner un nom (par exemple : « SRTM\_FUSION\_EPSG32635\_CLIP.tif »)



**Figure 81 : 4 « tiles » SRTM (MNT) (avec symbologie « RdYIGn ») et étendue de la zone d'étude (rectangle noir) (gauche) et MNT après fusion et découpage sur la zone d'étude (avec symbologie « wiki-schwarzwald-cont »\*) (droite)**

\*Remarque : la symbologie « wiki-schwarzwald-cont » est disponible via un clic-droit sur le raster > Propriétés... > Symbologie > Rendu des bandes raster >

- > Type de rendu > Pseudo-couleur à bande unique
- > Palette de couleurs > Clic-droit sur la palette de couleur > Créer une nouvelle palette de couleurs... > Catalogue : cpt-city > OK > Topography > wiki-schwarzwald-cont

#### **8.4.2.1.6. Rééchantillonner le MNT à une taille de pixel plus faible**

Afin d'alléger encore plus le MNT à utiliser, et donc de le rendre encore plus facilement/rapidement manipulable, il est possible de le rééchantillonner à une taille de pixel plus faible. Dans ce cas-ci le MNT d'origine à une taille de pixel de 30 mètres de côté, ce qui n'est pas nécessaire dans le cadre de cet exercice. Nous allons donc **rééchantillonner le MNT à une taille de pixel de 90 mètres de côté**, ce qui devrait diviser par 9 le poids numérique du MNT (il y a 9 cellules de 30\*30 m dans une cellule de 90\*90m). Pour ce faire :

- Menu QGIS: **Raster > Conversion > Convertir...**
- Couche en entrée : le raster découpé résultat de l'étape précédente
- Paramètres avancés > Paramètres additionnels de ligne de commande : **-tr 90 90** (confer détails ici [https://gdal.org/programs/gdal\\_translate.html](https://gdal.org/programs/gdal_translate.html))
- Converti : choisir l'option « Enregistrer vers un fichier... » puis le répertoire de sortie (votre répertoire de travail) et donner un nom (par exemple : « SRTM\_FUSION\_EPSG32635\_CLIP\_90m.tif »)

#### 8.4.2.2. Raster de proximité aux rivières

Il peut être intéressant de distinguer, dans une carte d'occupation du sol, les « forêts classiques » des « forêts riveraines » poussant à proximité des rivières (méthode avancée seulement).

Pour ce faire, il faut un raster indiquant la proximité aux rivières. C'est le rôle du raster

- « RIVIERES\_TAMPON\_60\_m\_RASTER.tif »
  - Ce raster prend une valeur de 1 dans les zones tampon du fichier « RIVIERES\_TAMPON\_60\_m.shp » (à 60m de part et d'autre des rivières numérisées, confer section 8.4.1 page 148) et une valeur de « NoData » ailleurs.
  - Ce raster a été créé via la fonction « Raster > Conversion > Rastérisation (vecteur vers raster)... » avec le paramétrage suivant :
    - Couche en entrée : « RIVIERES\_TAMPON\_60\_m.shp »
    - Valeur fixe : 1
    - Unité du raster résultat : Unités géoréférencée
    - Largeur/Résolution horizontale : 30
    - Hauteur/Résolution verticale : 30
    - Emprise du résultat (xmin, xmax, ymin, ymax) : utiliser l'emprise de la couche : sélectionner le shapefile délimitant la zone d'étude
    - Rasterisé : choisir l'option « Enregistrer vers un fichier... » puis le répertoire de sortie (votre répertoire de travail) et donner un nom

## 8.5. Acquisition des images satellites

### 8.5.1. Choix des dates des images satellites, notamment pour une analyse diachronique

#### 8.5.1.1. Comparabilité des images vs variations météorologiques saisonnières et interannuelles

Lors du choix des images satellites à utiliser pour la réalisation d'une **analyse diachronique interannuelle**, c'est-à-dire dont le but est de mettre en évidence les changements d'occupation du sol se produisant sur plusieurs années, il est important de prendre en considération les éléments suivants qui peuvent avoir un impact très important sur **l'apparence des classes d'occupation du sol et sur les classes de végétation** en particulier:

- **Variations saisonnières (phénologie de la végétation):**
  - Dans la plupart des régions du monde, les saisons auront un impact important sur l'état de développement de la végétation (ou phénologie de la végétation). Par exemple : les forêts décidues dont les feuilles tombent à un certain moment, des zones agricoles dont les surfaces alternent entre un sol nu, la croissance d'une culture puis la sénescence de cette culture, etc)
- **Variations météorologiques interannuelles**
  - Les conditions météorologiques (précipitations, températures) peuvent varier fortement d'une année à l'autre (année pluvieuse vs année de sécheresse) et donc impacter temporairement mais fortement les conditions de végétation dans une zone donnée.

Afin d'augmenter la comparabilité des images analysées, il faudra donc veiller à ce que celles-ci aient été acquises :

- à une même période/saison de l'année et
- pour des conditions météorologiques similaires pour les mois précédents l'acquisition.

Ces considérations sont bien sûr à nuancer en fonction de vos objectifs (intéressé ou pas par la classe végétation,...) et de la zone étudiée (impact saisonnier plus ou moins important : régions tempérées ou régions sahéliennes vs régions tropicales).

#### 8.5.1.2. Saison/période vs classes d'occupation du sol

Le choix d'une **saison/période** de l'année doit également être réfléchi en fonction des classes d'occupation du sol à identifier. En effet, certaines occupations du sol ne seront pas

distinguable à certaines périodes de l'année alors qu'elles le seront parfaitement à d'autres périodes. Par exemple :

- La culture de colza sera
  - facilement identifiable au moment de sa floraison qui présente de très nombreuses fleurs jaunes → les parcelles de colza en floraison apparaissent en jaune sur les images satellites en composition vraies couleurs,
  - beaucoup moins facilement identifiable avant (aspect similaire à d'autres plantes vertes) ou après la floraison.
- En région sahélienne, les arbres seront beaucoup plus facilement identifiables lorsque le couvert herbacé est mort mais que les arbres portent encore des feuilles vertes (contraste feuillage de l'arbre/background-sol plus important).

### 8.5.1.3. Disponibilité des images vs couverture nuageuse

Il faudra également prendre en compte la **disponibilité d'images de qualité suffisantes** conditionnée essentiellement par la **couverture nuageuse** qui peut être très persistante dans certaines régions du monde à certaines périodes de l'année, voire toute l'année (non disponibilité d'images sans nuage pendant des semaines, mois, voire des années...). Certaines caractéristiques géographiques locales, telle la présence d'une montagne en zone tropicale, associées à une heure précise de la journée (heure de passage du satellite), contribueront à la non disponibilité d'image sans nuage dans certaines zones.

## 8.5.2. Recherche, choix et téléchargement des images satellites dans le cadre de cet exercice

### 8.5.2.1. Analyse à faire avant le téléchargement des images satellites

L'objectif de l'étude est de réaliser une **analyse diachronique sur l'évolution à long terme** de la **région de Kasese**. Il convenait dès lors d'identifier une image suffisamment ancienne et une image récente.

Imaginons que nous voulons réaliser l'étude en comparant les périodes suivantes :

- **Période « historique » : 1985-1995**
- **Période récente : 2015-2019**

Ces périodes sont ici très larges (5-10 ans), ceci afin de faciliter notre recherche d'images satellites de qualité (sans ou avec peu de nuages). En fonction des caractéristiques météorologiques de votre zone d'étude, vous pourrez adapter la largeur de la fenêtre temporelle de recherche.

### 8.5.2.1.1. Recherche et identification des capteurs satellites

Dans un premier temps il faut trouver une / des images satellites correspondant à la période d'intérêt / à chacune des 2 périodes d'intérêt. Pour ce faire il est indiqué de se renseigner sur :

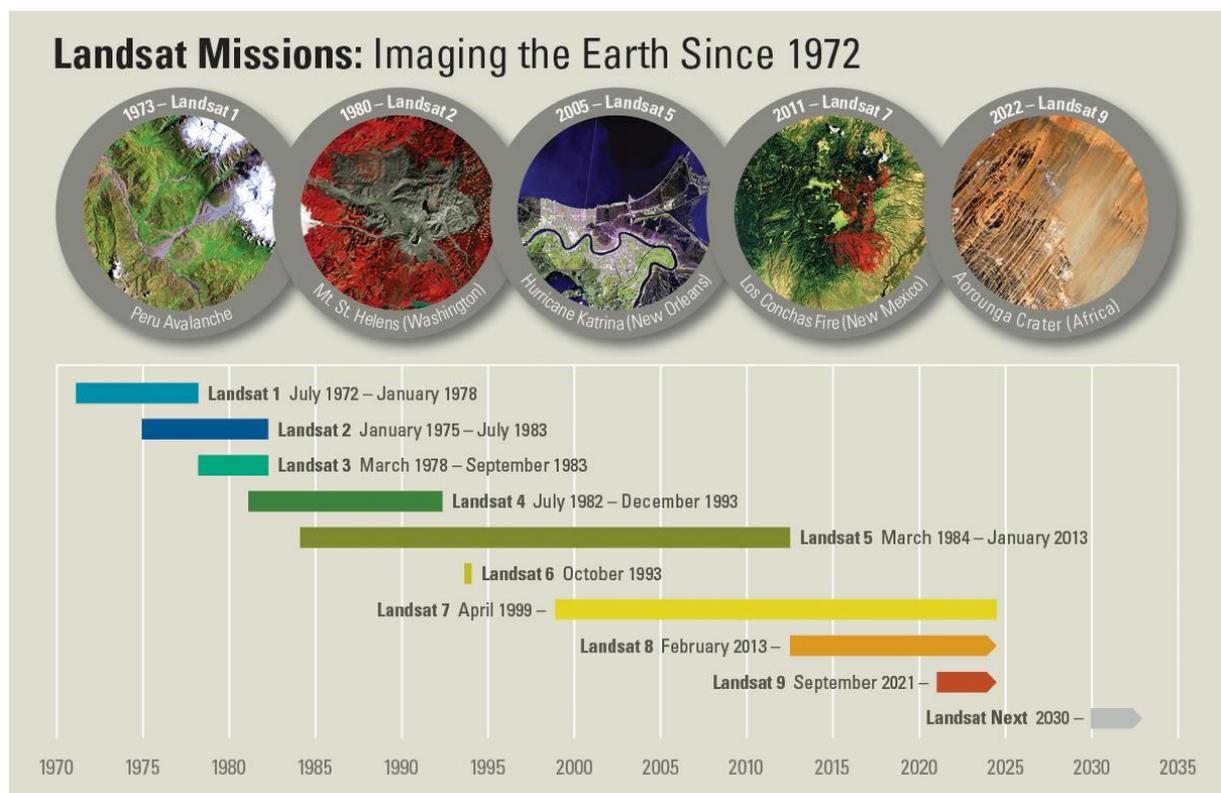
- les capteurs satellites actifs durant ces périodes et leurs caractéristiques techniques,
- l'accessibilité des images produites : gratuité ?, prix ?, restriction d'utilisation ?.

Une recherche exhaustive ne sera pas menée ici et notre choix se portera sur 1 / 2 capteurs multi-spectraux de haute résolution spatiale parmi les plus connus et disponibles pour la période / chacune des 2 périodes. Nous choisirons :

- Une image **Landsat-5** (satellite américain) comme image « historique ». Les images Landsat-5 sont disponibles entre 1984 et 2013. (Méthode simple et méthode avancée)
- Une image **Sentinel-2** (satellite européen) comme image récente. Les images Sentinel-2 sont disponibles depuis 2015 jusqu'actuellement. (Méthode avancée uniquement)

Un aperçu des périodes couvertes par les différents satellites Landsat 1 à 9 est disponible ici :

- <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-missions-timeline>



Des ressources de références concernant ces images sont :

- **Landsat-5** :
  - [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-5?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)
- **Sentinel-2** :
  - <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>

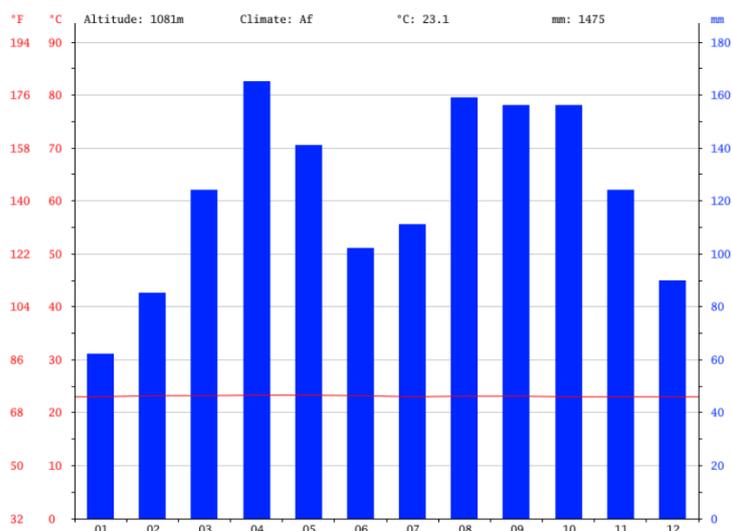
D'autres capteurs auraient bien sûr pu être mobilisés. Pour information, des listes de capteurs satellites sont disponibles ici :

- <https://webapps.itc.utwente.nl/sensor/default.aspx?view=allensors>
- <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/>
- <https://www.indexdatabase.de/db/s.php>

#### 8.5.2.1.2. Analyse des conditions climatiques et météorologiques

L'analyse des **conditions climatiques et météorologiques** de la région pourra nous aider à faire un choix d'images pertinent, comme déjà expliqué à la section 8.5.1 pages 157 et suivantes.

Le **diagramme climatique** de la région de Kasese est repris à la Figure 82. Cette figure nous apprend que la **température est constante** tout au long de l'année mais qu'il y a **2 saisons de précipitations plus importantes**, entre mars et mai et entre août et novembre, ce qui peut avoir un impact sur les conditions de végétation. Une analyse diachronique interannuelle évitera donc par exemple de se baser sur une comparaison d'une image de janvier (saison plus sèche) avec une image d'octobre (fin de saison pluvieuse) car ce type de comparaison serait fortement impacté par l'évolution saisonnière des conditions de végétations elle-même liée aux conditions de précipitations.



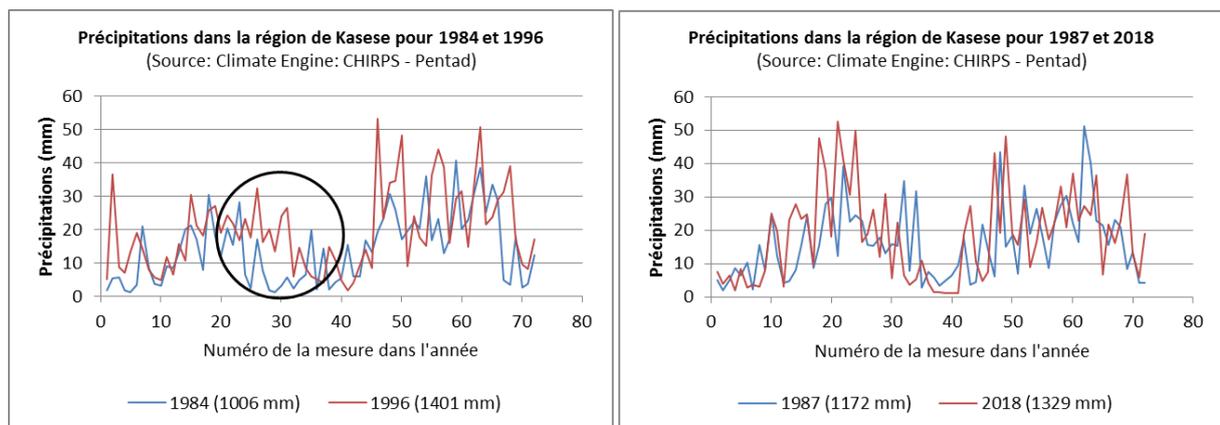
**Figure 82 : Diagramme climatique de la ville de Kasese en Ouganda, centre de la zone d'étude.**  
Source : <https://fr.climate-data.org/>

Une **série temporelle multi-annuelle des précipitations** pour la région de Kasese sur la période 1981-2019 est présentée à la Figure 83 sous la forme de déviations par rapport à la moyenne des précipitations totales annuelles. Ce graphique a été obtenu très facilement à partir de l'application « Climate Engine » (<https://clim-engine.appspot.com/climateEngine>) en utilisant les données de précipitations « CHIRPS - Pentad ». Ce graphique permet d'**identifier les années plutôt sèches, normales ou pluvieuses**, ce qui peut constituer une première observation intéressante. Notez cependant que, dans ce cas-ci, étant donné la double saison de précipitations annuelles dans la zone d'étude, ce graphique, présentant des totaux annuels, n'est pas extrêmement pertinent car il ne reflète en rien la possible variation de la répartition des précipitations au cours de l'année et en particulier pendant les quelques mois précédant l'acquisition des images satellites qui seront utilisées pour réaliser l'analyse diachronique. Par exemple, une année pourrait être considérée comme plutôt sèche alors que le déficit pluviométrique serait dû uniquement aux mois postérieurs à la date d'acquisition de l'image satellite à utiliser. Remarquez que généralement les températures conditionnent moins le développement de la végétation que les précipitations. Notez enfin qu'il est toujours bon de questionner la qualité et la fiabilité des données météorologiques utilisées.



**Figure 83 : Déviations par rapport à la moyenne des précipitations totales annuelles dans la région de Kasese, obtenues à partir de l'application « Climate Engine » utilisant les données de précipitations « CHIRPS - Pentad » sur la période 1981-2019.** Source : <https://clim-engine.appspot.com/climateEngine>

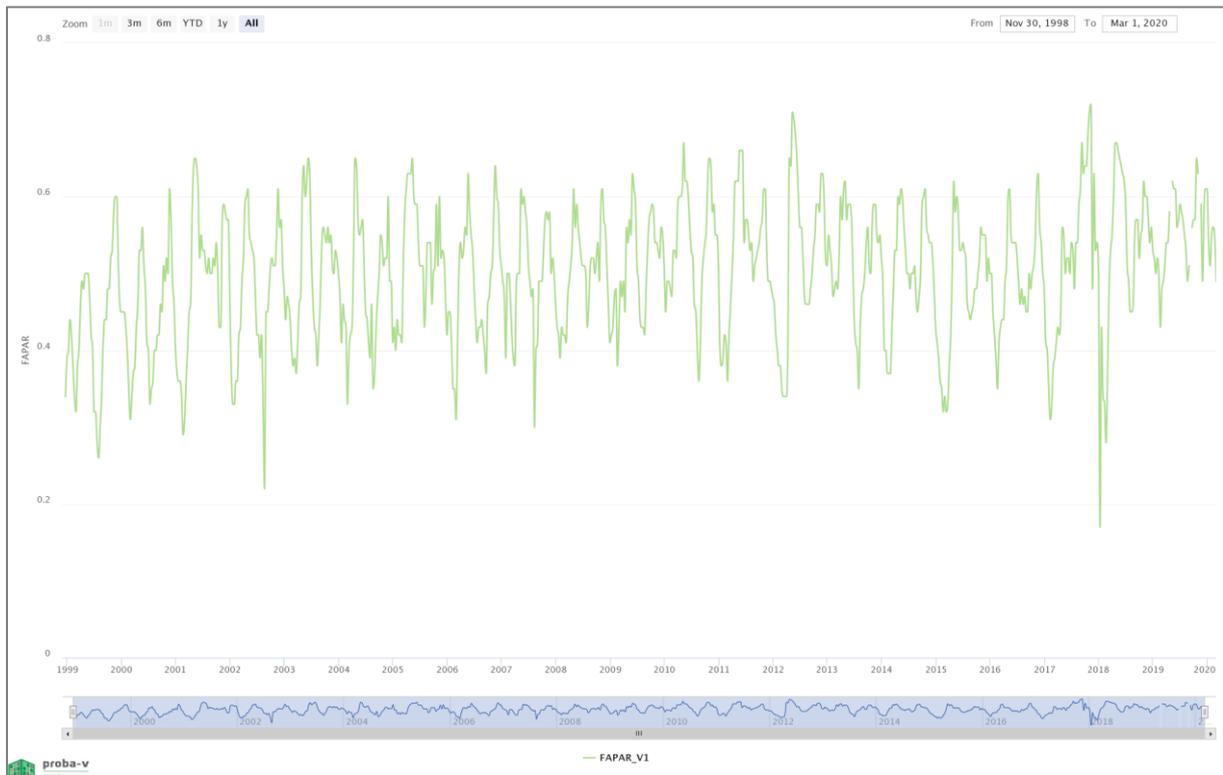
Un **graphique des précipitations mensuelles des mois précédant la date d’acquisition des 2 images satellites à comparer** (Figure 84) est donc plus pertinent pour s’assurer que les conditions météorologiques de ces années ne soient pas un facteur de variation trop important de l’occupation du sol. Par exemple, dans le cas de la Figure 84-gauche, une analyse diachronique basée sur des images satellites acquises aux alentours de la période correspondant à la mesure 35 (confer les graphiques) pour les années 1984 et 1996 pourrait présenter un biais de l’occupation du sol lié au fait que les semaines précédant cette période (cercle noir sur le graphique) présente des précipitations relativement différentes entre 1984 (plus sec) et 1996 (plus humide), bien que cet exemple-ci ne soit pas un exemple très marqué.



**Figure 84 : Comparaisons des précipitations dans la région de Kasese pour différents couples d’années : à gauche, 2 années relativement contrastées en termes de total de précipitations annuels, et à droite, les 2 années considérées pour l’analyse diachronique menée dans le cadre de cet exercice-ci. Source : données extraites de « Climate Engine » (<https://app.climateengine.org/climateEngine>) et mises en graphique dans Excel.**

Enfin, l’analyse d’une **série temporelle d’un indice de végétation**, tel quel le NDVI, le FAPAR, etc, peut nous renseigner sur la **saisonnalité des conditions de végétation**, et donc, de manière indirecte, sur les **conditions météorologiques**, que ce soit de manière générale (comportement moyen) ou pour des années particulières que nous voudrions comparer. La Figure 85 montre l’évolution de l’indice de végétation fAPAR tel que calculé à partir des capteurs SPOT-VEGETATION et PROBA-V pour la région de Kasese entre 1999 et 2020. Cette figure a été produite à partir de l’application web présentée à la section « 6.6 Time series viewer SPOT-VGT & PROBA-V » page 112. Cette figure nous apprend que la région de Kasese est caractérisée par une **double saison de végétation annuelle** avec la saison d’avril-mai présentant généralement un pic de fAPAR très légèrement supérieur à celui de la saison de septembre à novembre. Cette évolution trouve son origine dans la variation intra-annuelle des conditions de précipitations comme discuté ci-dessus et illustré à la Figure 82. Cette application ne permet cependant pas de remonter avant 1999, ce qui ne nous permet pas d’évaluer la comparabilité météorologique (indirectement) d’une année dans la période 1985-1995 avec une année dans la période 2015-2019. Notez enfin les **2 limitations** suivantes à l’utilisation de ce type d’information:

- La **qualité/fiabilité** des données mises à disposition par ce type d'application doit être questionnée étant donné que les valeurs de ce type d'indices, produits de cette manière, peuvent être très fortement impactées par une couverture nuageuse persistante.
- S'il y a eu un **changement important de la nature de l'occupation du sol** dans la zone étudiée (exemple : déforestation massive, urbanisation, etc), ce changement pourra impacter la valeur des indices de végétation et ceux-ci ne seront donc plus le reflet des seules variations des conditions météorologiques.



**Figure 85 : Aperçu de l'évolution de l'indice de végétation fAPAR (des capteurs SPOT-VEGETATION et PROBA-V) pour la région de Kasese entre 1999 et 2020. Source : <https://proba-v-mep.esa.int/applications/time-series-viewer/app/app.html>**

L'importance (/la non-importance) de cette analyse des conditions climatiques et météorologiques dans la procédure d'identification des images satellites est à mettre en relation avec :

- l'impact potentiel que ces conditions peuvent avoir OU PAS sur les classes d'occupation du sol dont vous voulez étudier l'évolution,
- la disponibilité des images satellite pour les périodes que vous désirez comparer.

Dans le cas où des images satellites correspondant à des années météorologiquement comparables n'ont pas pu être utilisées, l'analyse de ces conditions météorologiques peut aussi être utilisée à **posteriori** afin d'expliquer éventuellement certains changements d'occupation du sol observés.

### 8.5.2.2. Remarque méthodologique sur la recherche et le téléchargement des images satellites : site web vs plugin SCP de QGIS



#### Attention! Différentes méthodes sont possibles pour rechercher, télécharger et prétraiter les images satellites!

Les images Landsat-5 et Sentinel-2 peuvent être **recherchées et téléchargées** de 2 manières :

- Soit via les **sites web de référence** pour ces 2 types d'image, (confer les 2 sections 8.5.2.3 et 8.5.2.4 ci-dessous).
- Soit directement à partir du **plugin SCP dans QGIS** via connexion aux sites web renseignés ci-dessus à travers le plugin SCP (confer section 8.5.4 ci-dessous).

Notez que pour **certains prétraitements à faire sur les images avec le plugin SCP** (création d'un jeu de bandes, sélection des bandes d'intérêt, rééchantillonnage automatique, etc)

- Si le **téléchargement est effectué indépendamment de SCP**, via les sites web de référence, ces prétraitements devront constituer une étape de traitement à part entière, dans QGIS (confer section 8.6 page 193).
- **Si le téléchargement est effectué via SCP dans QGIS**, ces prétraitements peuvent se faire automatiquement dans la foulée du téléchargement (confer section 8.5.4 ci-dessous).

**Attention ! Dans le cadre de ce manuel, voici la méthode proposée, afin de ne pas perdre trop de temps :**

- **Recherche des images Landsat-5 et Sentinel-2 d'intérêt:** cette recherche se fera via les sites web de référence qui sont plus conviviaux que le plugin SCP (confer les 2 sections 8.5.2.3 et 8.5.2.4 ci-dessous), puis pour
- **Landsat-5** (méthode simple et méthode avancée):
  - Téléchargement de l'image sur le site web de référence (car via le plugin SCP, il y a régulièrement des bugs).
  - Les prétraitements de l'image se feront via le plugin SCP dans QGIS.
- **Sentinel-2** (méthode avancée seulement): les images déjà téléchargées et déjà prétraitées sont directement mises à disposition des étudiants car ces étapes peuvent prendre un certain temps (10-15 minutes par image Sentinel-2). Ces images sont disponibles dans le dossier « ...\DATA\IMAGES\SENTINEL\_2\ » et commencent par le préfixe « 30m\_clip\_RT... ».
  - **Les prétraitements préalablement faits sur les images Sentinel-2 sont:**
    - Téléchargement
    - Correction DOS1 dans SCP
    - Découpage spatial sur la zone d'étude
    - Sélection des bandes 2, 3, 4, 5, 8, 11 (430 Mo pour 6 bandes)
    - Rééchantillonnage des bandes à 30 m (108 Mo pour 6 bandes)

Dans les sections suivantes, des consignes reprises sous le titre **« ! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel »** vous indiqueront la marche à suivre.

Cependant, des **INDICATIONS EXHAUSTIVES** pour réaliser les 2 méthodes de recherche, téléchargement et prétraitements des images satellites, via site web de référence OU via le

plugin SCP, sont données, à toutes fins utiles, dans les sections suivantes :

- Recherche et téléchargement des images satellites via les **sites web de référence** : sections 8.5.2.3 et 8.5.2.4 pages 165 et 175 respectivement
- Téléchargement des images **avec prétraitements dans la foulée via le plugin SCP dans QGIS** : section 8.5.4 page 183
- Prétraitements des images satellites **non couplés au téléchargement via le plugin SCP dans QGIS** : section 8.6 page 193

### 8.5.2.3. Recherche et téléchargement de l'image Landsat-5 via le site web « EarthExplorer » et décompression de l'image

**! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel :**

- **Faire la recherche et le téléchargement** de l'image Landsat-5 sur le site web de référence.

**Remarque :** si vous rencontriez un problème de téléchargement de l'image Landsat-5, sachez que celle-ci est mise à disposition en format compressé dans le dossier de formation et sous le nom « \5\_CLASSIFICATION\_SUPERVISEE\_ANALYSE\_DIACHRONIQUE\DATA\IMAGES\LANDSAT\_5\LT05\_L2SP\_173060\_19870807\_20201014\_02\_T1.tar ». Si vous choisissiez d'utiliser cette image fournie plutôt que de suivre la procédure proposée dans le cadre de ce manuel, rendez-vous à la section 8.6 page 193 pour la suite de la procédure.

#### 8.5.2.3.1. Recherche de l'image Landsat-5 via le site web « Earth Explorer »

Le **site web de référence** pour rechercher et télécharger une **image Landsat** est le suivant :

- <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Figure 86)

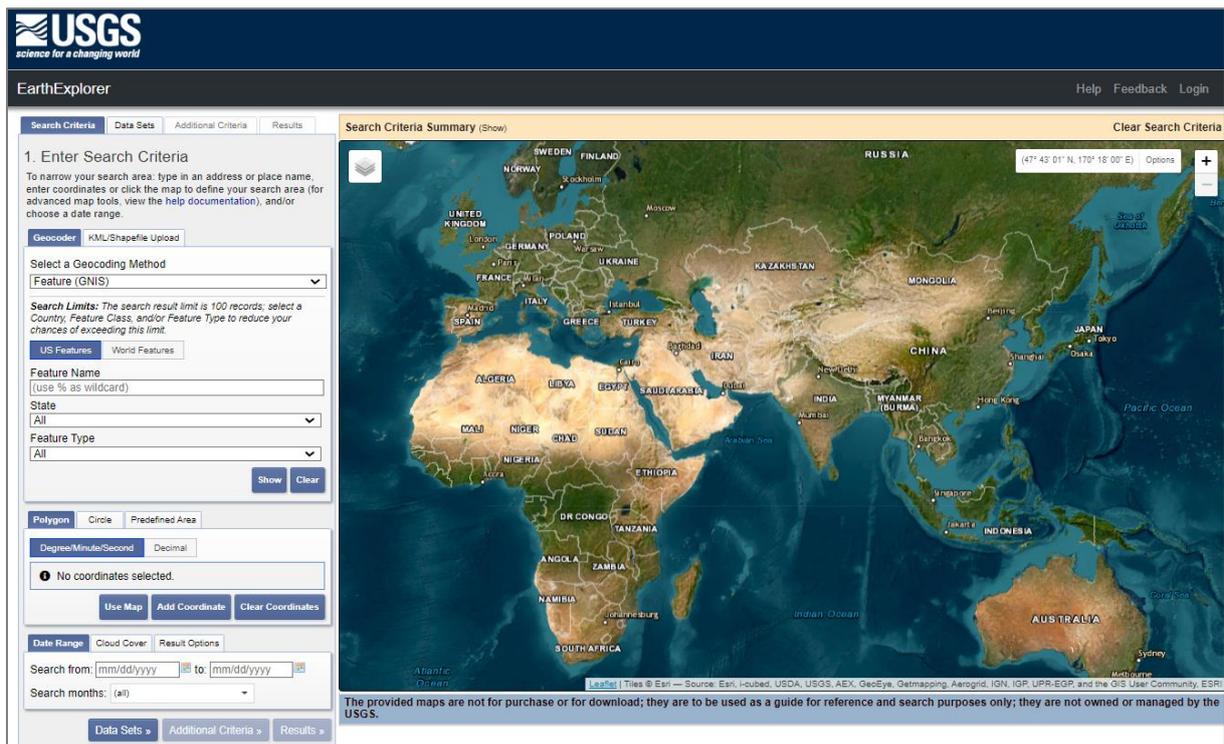


Figure 86 : Site web <https://earthexplorer.usgs.gov/> utilisé ici pour la recherche des images Landsat

La **recherche** d'une image satellite sur ce site peut se faire librement, sans création de compte.

Le **téléchargement** d'une image satellite à partir de ce site, que ce soit directement à partir du site web OU via le plugin SCP, nécessite par contre que vous :

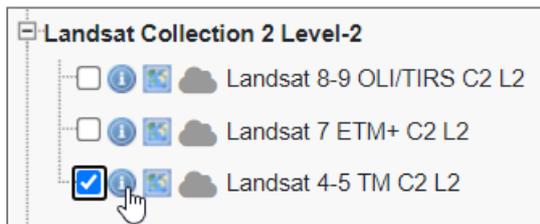
- Vous créez un compte via le « EROS Registration System (ERS) » disponible ici : <https://ers.cr.usgs.gov/>, et ensuite, que vous (Figure 87)
- Vous loguez sur le site <https://earthexplorer.usgs.gov/> à l'aide de vos identifiant et mot de passe (Figure 86).

Figure 87 : Page du site web <https://ers.cr.usgs.gov/> permettant de créer un compte personnel nécessaire pour pouvoir télécharger les images satellites Landsat

Les critères à utiliser pour la recherche d'une image satellite Landsat-5 sur le site web « Earth Explorer » sont dans ce cas-ci (Figure 88):

- Onglet « Search Criteria »
  - Période : 01/01/1985 - 31/12/1995
  - Mois : juin-juillet-août
  - Cloud cover : < 30 %. Ceci permettra de n'obtenir que les images présentant une couverture nuageuse de moins de 30% et de cette manière ne pas avoir trop d'images trop ennuagées, et donc inutilisables, dans les résultats de la requête
  - Lieu : le lieu peut être précisé de nombreuses façons, dont la plus simple est de dessiner un carré ou un point à l'endroit de la zone d'étude de manière interactive sur l'interface spatiale. Dans ce cas-ci cependant, il vous est proposé d'utiliser plutôt les coordonnées de référence de la zone dans le système de référence de Landsat-5 : confer ci-dessous l'onglet « **Additional Criteria > WRS Path and Row** »
- Onglet « Data Set »:
  - **Landsat Collection 2 Level-2** > Landsat 4-5 TM C2 Level-2
    - Remarque : le level-2, en comparaison avec le level-1, présente le gros avantage de fournir des images qui ont déjà subi une correction atmosphérique et qui correspondent à des réflectances de surface. Plus d'informations disponibles ici <https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs->

[public/atoms/files/Landsat-C1vsC2-2021-0430-LMWS.pdf](https://public.atoms/files/Landsat-C1vsC2-2021-0430-LMWS.pdf) ou via les boutons « info » des collections sur le site web



- **Onglet « Additional Criteria » :**

- **WRS Path and Row :** WRS = « Worldwide Reference System », un système de coordonnées de référence pour les images Landsat. pour Landsat-5 le WRS-2 est à utiliser. Plus d'information sur ce système ici : [https://www.usgs.gov/faqs/what-worldwide-reference-system-wrs?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-worldwide-reference-system-wrs?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products) et ici <https://landsat.gsfc.nasa.gov/the-worldwide-reference-system/> . Pour notre zone d'étude, utiliser les valeurs suivantes :
  - WRS\_Path : 173
  - WRS\_Row : 60

**1. Enter Search Criteria**

To narrow your search area: type in an address or place name, enter coordinates or click the map to define your search area (for advanced map tools, view the [help documentation](#)), and/or choose a date range.

Geocoder **KML/Shapefile Upload**

Files are limited to one record containing one polygon or line string with a maximum of 500 points.

KML/KMZ ▾ Select File

**Polygon** Circle Predefined Area

Degree/Minute/Second Decimal

**No coordinates selected.**

Use Map Add Coordinate Clear Coordinates

**Date Range** Cloud Cover Result Options

Search from: 01/01/1985 to: 12/31/1995

Search months: June, July, August

May  
 June  
 July  
 August  
 September

Data Sets » Results »

**1. Enter Search Criteria**

To narrow your search area: type in an address or place name, enter coordinates or click the map to define your search area (for advanced map tools, view the [help documentation](#)), and/or choose a date range.

Geocoder **KML/Shapefile Upload**

Files are limited to one record containing one polygon or line string with a maximum of 500 points.

KML/KMZ ▾ Select File

**Polygon** Circle Predefined Area

Degree/Minute/Second Decimal

**No coordinates selected.**

Use Map Add Coordinate Clear Coordinates

Date Range **Cloud Cover** Result Options

Cloud Cover Range: 0% - 30%

Unknown Cloud Cover Values **Included** ▾

*This filter will only be applied to data sets that support cloud cover filtering (● in the data set list denotes cloud cover support).*

Data Sets » Additional Criteria » Results »

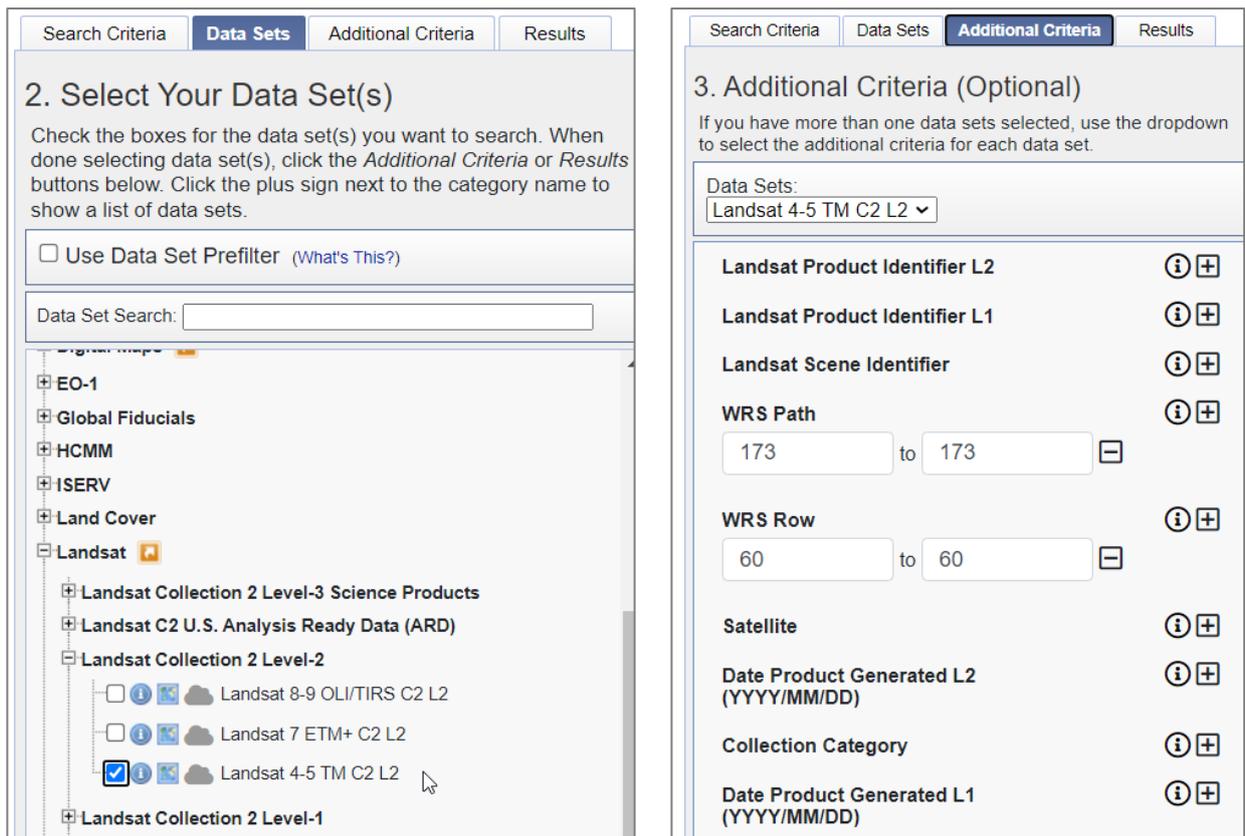


Figure 88 : Critères de recherches utilisés sur le site <https://earthexplorer.usgs.gov/> pour trouver l'image Landsat-5 utilisée dans le cadre de cet exercice

Ces critères de recherche résultent en 7 images Landsat-5 dont la plus intéressante est l'image du **7 août 1987** qui présente très peu de nuage sur la zone d'étude (Figure 89). Un aperçu géolocalisé des images est disponible via le bouton « Show Browse Overlay »



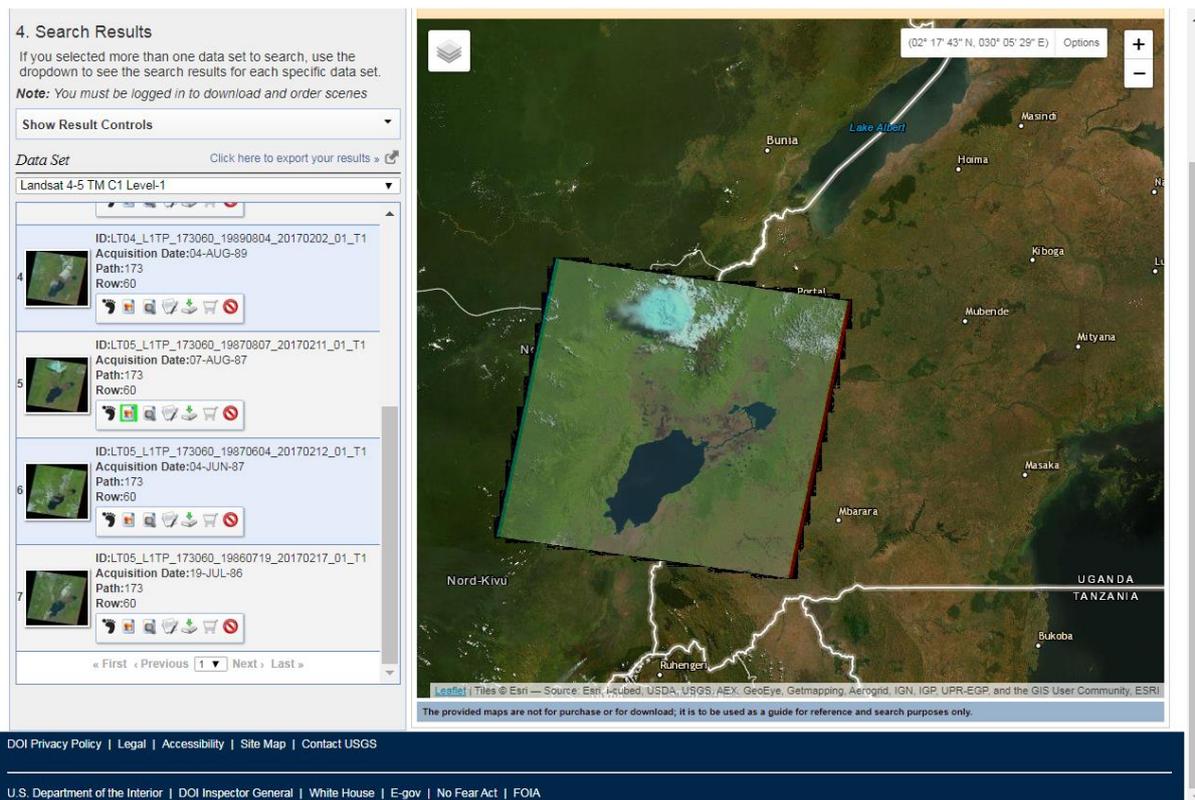


Figure 89 : Résultat de la recherche d'une image Landsat-5 sur la zone d'étude sur le site <https://earthexplorer.usgs.gov/>

**! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel :** une fois l'image d'intérêt trouvée, passez à la section suivante de ce manuel afin de faire le téléchargement de l'image à partir du site web.

### 8.5.2.3.2. Téléchargement de l'image Landsat-5 via le site web « Earth Explorer »

**! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel :** suivre les indications de cette section pour faire le téléchargement de l'image à partir du site web.

Le téléchargement d'une image satellite ne sera possible que si vous vous **loguez** sur le site <https://earthexplorer.usgs.gov/> après vous être créé un compte via le « EROS Registration System (ERS) » disponible ici <https://ers.cr.usgs.gov/>, comme déjà indiqué plus haut en début de section 8.5.2.3.1 page 165.

Une fois l'image d'intérêt trouvée, le **téléchargement direct** s'effectue via le bouton « **Download Options** »  disponible auprès de l'aperçu de chacune des images résultant de la recherche.

Dans la **fenêtre « Download Options »** qui apparait (Figure 90), choisissez « **Product Options** » puis le premier bouton gris qui correspond au « **Product Bundle** » (paquet) qui permet de

télécharger tous les fichiers dans un dossier compressé (cela évite de télécharger des fichiers individuels/séparés comme ce que permettent les autres options de téléchargement).

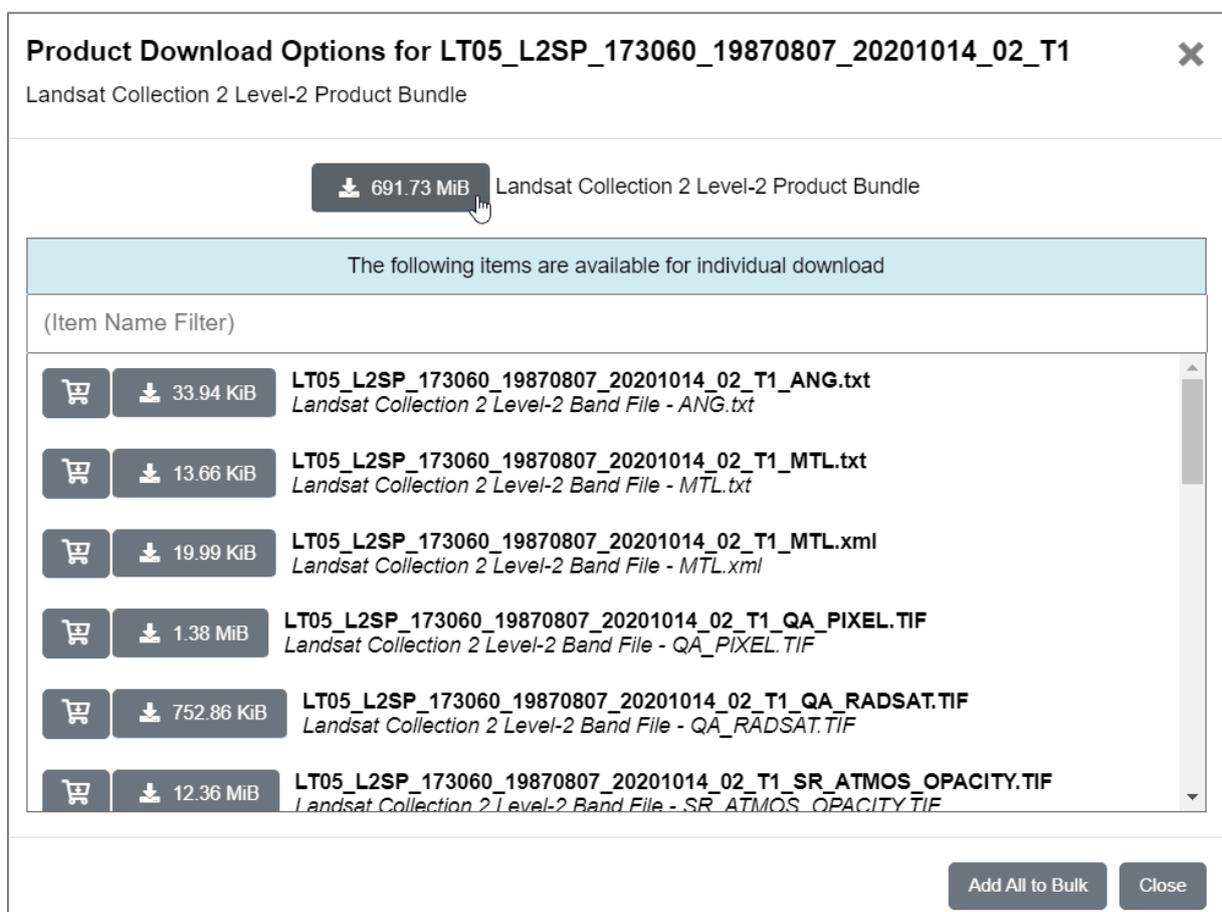
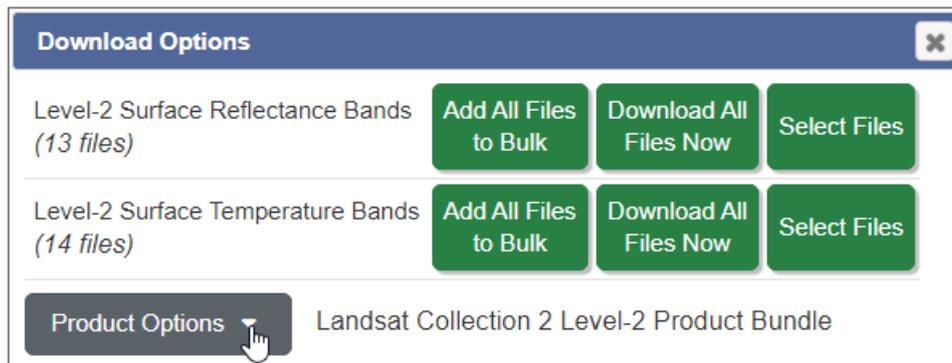


Figure 90 : Options de téléchargement d'une image Landsat-5 sur le site web <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Le téléchargement peut prendre quelques minutes.

### 8.5.2.3.3. Décompression de l'image Landsat-5 téléchargée via le site web « Earth Explorer »

Les images sont téléchargées sous la forme d'un dossier compressé « **LT05\_L2SP\_173060\_19870807\_20201014\_02\_T1.tar** » qu'il faudra donc **décompresser** avant de pouvoir les utiliser dans QGIS.

Si vous n'avez pas de **logiciel de décompression**, il vous est conseillé d'utiliser le logiciel gratuit « 7-Zip » disponible ici : <https://www.7-zip.org/>.

Après **décompression**, les fichiers contenus dans ce dossier sont présentés à la figure ci-dessous, et en particulier :

- Les bandes spectrales B1 à B7 (la B6 est la bande infrarouge thermique).
- La bande « Quality Band » « QA\_PIXEL » renseignant sur la qualité de chaque pixel (confer section 8.6.11.2 page 217).
- Le fichier de métadonnées « ...MTL.txt ».
- Un aperçu de l'image « ...jpeg ».

Name	Date	Type	Size
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_ANG.txt	19/04/2024 16:49	TXT File	34 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_MTL.json	19/04/2024 16:49	JSON File	13 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_MTL.txt	19/04/2024 16:49	TXT File	14 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_MTL.xml	19/04/2024 16:49	Microsoft ...	20 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_QA_PIXEL.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	1 411 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_QA_RADSAT.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	753 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_SR_ATMOS_OPACITY.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	12 654 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_SR_B1.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	61 208 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_SR_B2.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	58 657 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_SR_B3.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	60 275 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_SR_B4.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	76 796 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_SR_B5.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	73 788 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_SR_B7.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	61 465 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_SR_CLOUD_QA.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	2 971 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_SR_stac.json	19/04/2024 16:49	JSON File	45 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_ST_ATRAN.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	43 195 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_ST_B6.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	66 791 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_ST_CDIST.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	16 243 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_ST_DRAD.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	28 309 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_ST_EMIS.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	42 533 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_ST_EMSD.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	13 461 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_ST_QA.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	23 983 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_ST_stac.json	19/04/2024 16:49	JSON File	40 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_ST_TRAD.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	23 044 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_ST_URAD.TIF	19/04/2024 16:49	TIF File	40 742 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_thumb_large.jpeg	19/04/2024 16:49	JPEG File	63 KB
 LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1_thumb_small.jpeg	19/04/2024 16:49	JPEG File	10 KB

**Figure 91 : Contenu du dossier « .tar » d'une image Landsat-5 après décompression. Parmi ces fichiers, notamment, les bandes spectrales B1 à B7, la « Quality Band » « QA\_PIXEL », les métadonnées « ...MTL.txt » et un aperçu de l'image « ....jpeg »**

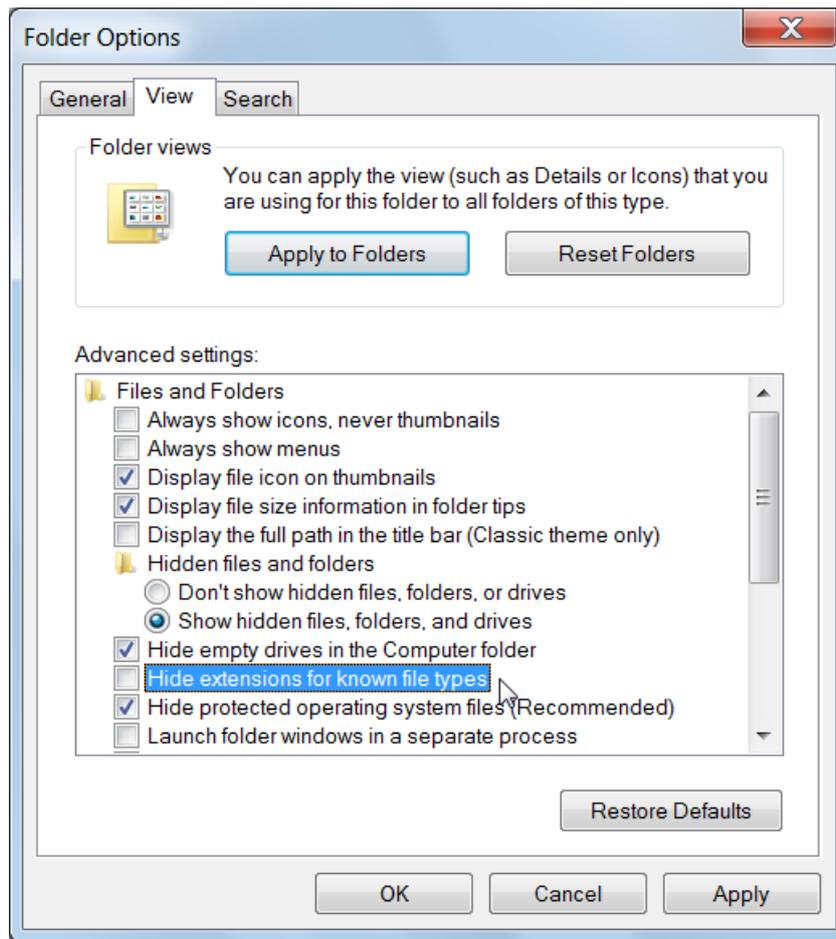
Afin de libérer de la place sur votre disque dur, vous pouvez **supprimer** :

- **Les fichiers qui ne seront pas utilisés** dans le cadre de cet exercice, à savoir les 10 fichiers dont le nom contient « **\_ST\_** » dans l'image ci-dessus. Le dossier restant fait +/- 400 MB. (Ces fichiers ont déjà été supprimés dans le dossier de formation téléchargeable sur ORBI).
- **Le dossier compressé original** après obtention des images décompressées (ou le garder en backup).

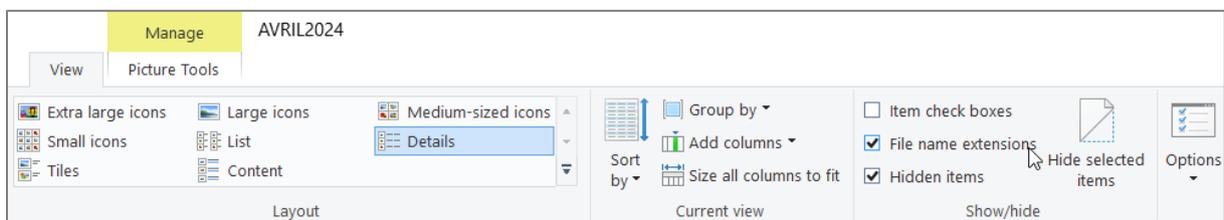
Evitez les répertoires trop longs en **renommant/réorganisant** éventuellement les **dossiers** après décompression.

**Remarque :**

- Si vous ne voyez pas les **extensions des fichiers** dans votre explorateur Windows, vous pouvez les faire apparaître en modifiant les propriétés d'affichage des fichiers dans l'explorateur Windows via les « Options des dossiers » disponibles via les fenêtres d'exploration Windows et en décochant l'option « Cacher les extensions de types de fichier connu » (Figure 92).



OU



**Figure 92 : Fenêtre « Options des dossiers » d'une fenêtre d'exploration Windows permettant de faire apparaître les extensions de fichiers de types connus en décochant l'option « Cacher les extensions de types de fichier connu » (image du dessus) ou en cochant l'option « extension des noms de fichiers » (image du dessous)**

#### 8.5.2.4. Recherche, téléchargement et décompression des images Sentinel-2 via le site web « SciHub » **(NON mis à jour !)**

**! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel :**

- **Ne faire que la recherche des images Sentinel-2 (section 8.5.2.4.1), pas leur téléchargement (section 8.5.2.4.2)** car les images téléchargées et prétraitées sont mises à votre disposition dans le dossier de formation « 5\_CLASSIFICATION\_SUPERVISEE\_ANALYSE\_DIACHRONIQUE\DATA\IMAGES\SENTINEL\_2\ » en format « .tif » (confer la section 8.5.2.2 page 164). Cette recherche a pour seul but de vous familiariser avec la recherche d'une image satellite sur le site web « SciHub ».
- Si, plutôt que de suivre la procédure proposée dans le cadre de ce manuel, vous choisissiez de télécharger et prétraiter ces images par vous-même, rendez-vous à une des sections suivantes, selon la procédure que vous choisirez:
  - Section 8.5.2.4.2 page 180 pour un « Téléchargement des images Sentinel-2 via le site web « Scihub » »
  - Section 8.5.4 page 183 pour un « Téléchargement des images avec prétraitements dans la foulée via le plugin SCP dans QGIS »
  - Section 8.6 page 193 pour un « Prétraitements des images satellites non couplés au téléchargement via le plugin SCP dans QGIS »

##### 8.5.2.4.1. Recherche des images Sentinel-2 via le site web « Scihub »

Le site web de référence pour rechercher et télécharger une image Sentinel-2 est le suivant (Figure 93) :

- <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>



Figure 93 : Page d'accueil du site web « Copernicus Open Access Hub » disponible ici <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> » et permettant l'accès aux images Sentinel-2 notamment.

La recherche d'une image satellite sur ce site peut se faire librement, sans création de compte.

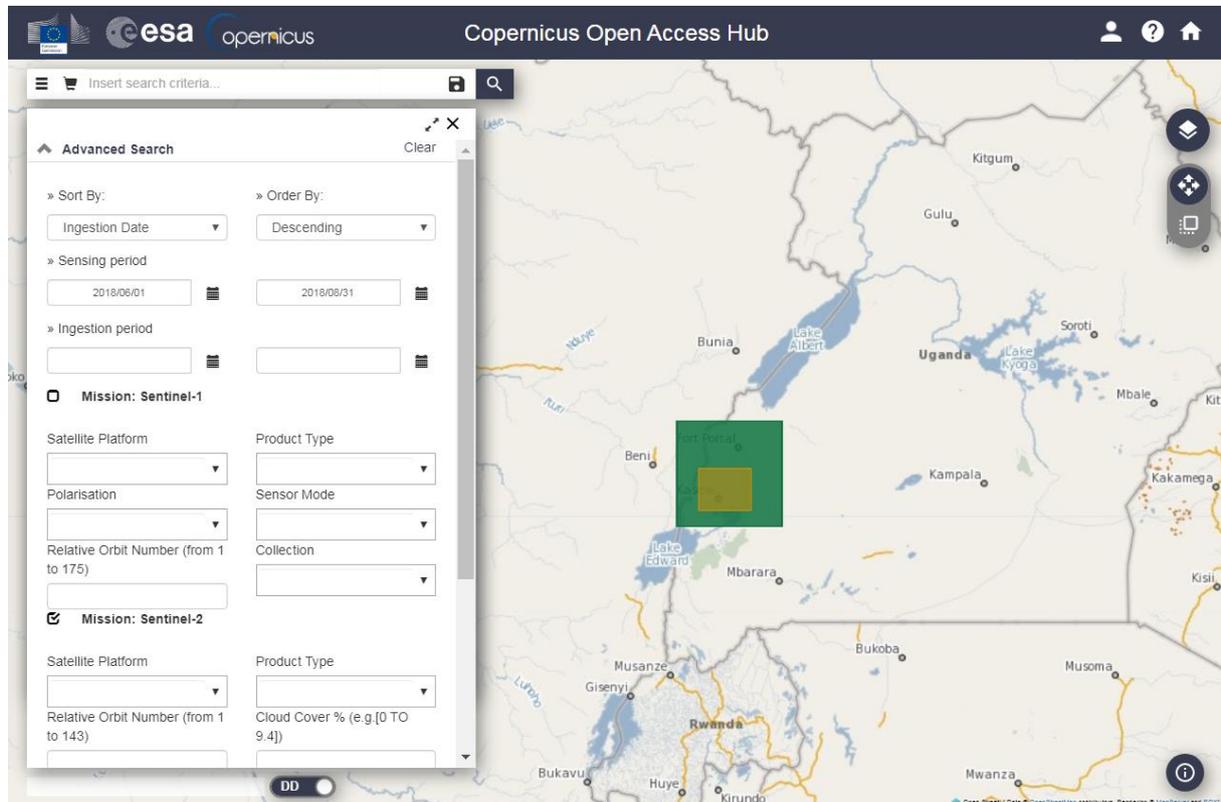
Le téléchargement d'une image satellite à partir de ce site, que ce soit directement à partir du site web OU via le plugin SCP, nécessite par contre que vous :

- Vous créez un compte via le bouton de login  > Sign up, et ensuite que vous
- Vous loguez via le bouton de login  > LOGIN à l'aide de vos identifiant et mot de passe.

Les critères à utiliser pour la recherche d'une image satellite Sentinel-2 sur le site web « SciHub » sont dans ce cas-ci (Figure 94):

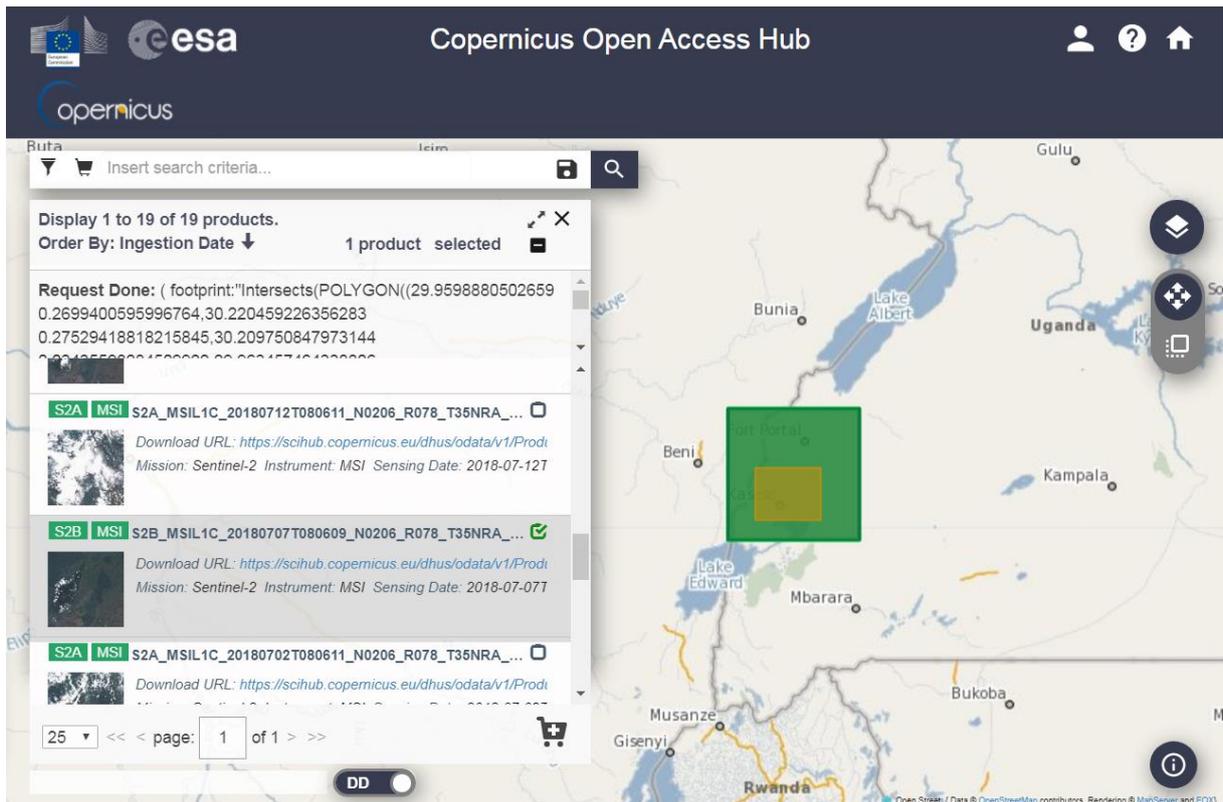
- Lieu : le lieu d'intérêt doit être identifié en se déplaçant dans l'interface via la roulette de la souris (zoom) et le bouton , et un rectangle peut être dessiné sur la zone d'intérêt via le bouton .

- La **période** et le **type de produit** (satellite) doivent être paramétrés via le panneau latéral de gauche affichable via le bouton ☰. Dans ce cas-ci, les critères suivants ont été utilisés :
  - Période : entre le 1<sup>er</sup> juin 2018 et le 31 août 2018
  - Type de produit : Mission : Sentinel-2



**Figure 94 : Site web « Copernicus Open Access Hub » paramétré pour rechercher une image Sentinel-2 dans la zone d'étude pour la période d'intérêt. Panneau latéral de gauche = critères de recherche d'une image (période, produit (satellite), etc), couverture nuageuse, etc)**

Les résultats de la recherche d'images sont présentés comme à la Figure 95.



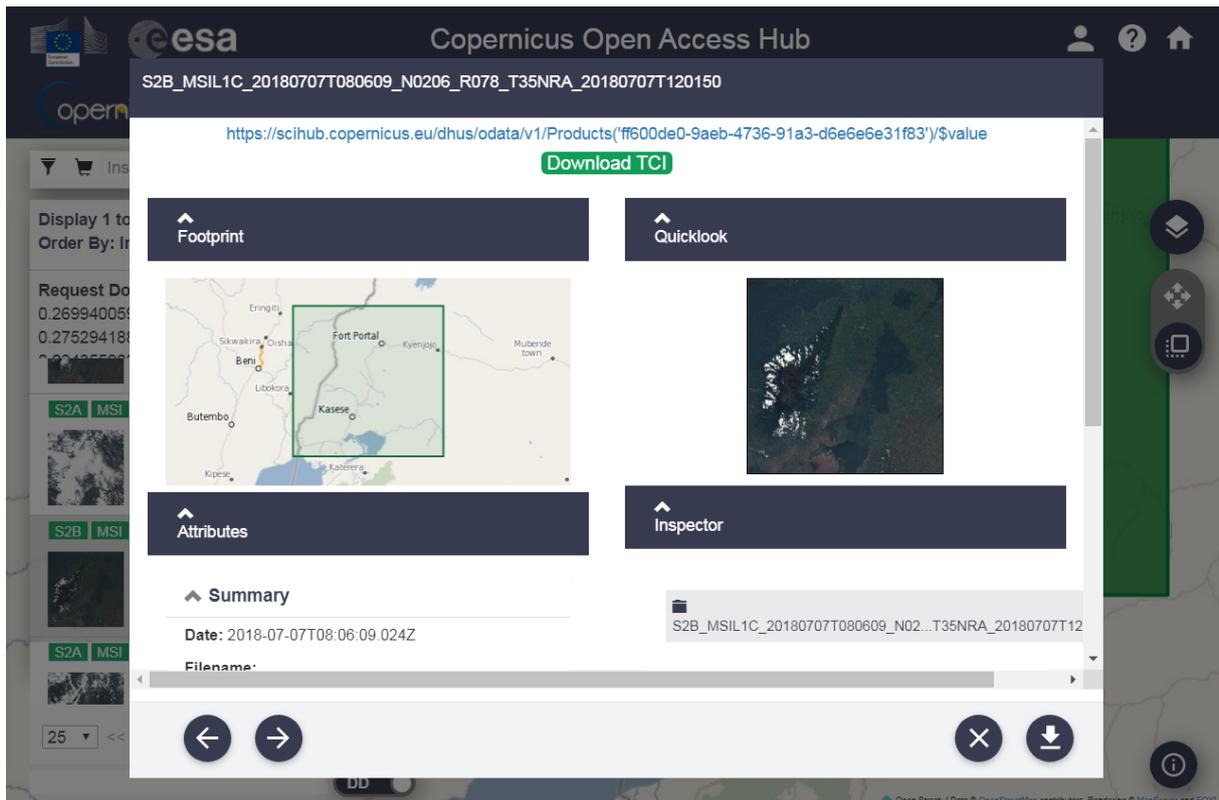
**Figure 95 : Résultats de la recherche d’image Sentinel-2 dans le « Copernicus Open Access Hub »**

La liste des images résultantes peut être explorée à la recherche de la meilleure image.

Des **informations détaillées sur une image** sont disponibles via le bouton



(Figure 96).



**Figure 96 : Aperçu de l'image Sentinel-2 du 07 juillet 2018**

Face à la difficulté de trouver des images satellites présentant une couverture nuageuse suffisamment faible que pour permettre une analyse de qualité suffisante, il peut être judicieux de procéder à un **mosaïquage de 2 ou plusieurs images**, chacune partiellement ennuagées, et acquises dans un intervalle de temps relativement restreint (à moduler en fonction des objectifs de l'étude) (Figure 97), afin de **reconstruire une image « désennuagée » à partir des zones non-ennuagées de chacune des images**. Cette méthode de « **mosaïquage temporel** » est proposée dans la section 8.6.8 page 205.

Les **2 images Sentinel-2** qui seront utilisées à cette fin dans le cadre de cet exercice (Figure 97) sont les images du :

- 12 juin 2018
- 07 juillet 2018



Image Sentinel-2 du 12 juin 2018

Image Sentinel-2 du 7 juillet 2018

**Figure 97 : Aperçu des 2 images Sentinel-2, toutes 2 partiellement ennuagées, utilisées dans le cadre de cet exercice**

#### 8.5.2.4.2. Téléchargement des images Sentinel-2 via le site web « Scihub »

Une fois identifiée, une image peut être **téléchargée** via le bouton



Les images sont téléchargées sous la forme de **dossiers compressés « .zip »** qu'il convient de décompresser avant l'intégration de l'image dans QGIS. Ce dossier contient un nombre important de sous-dossiers et fichiers et il ne sera pas détaillé ici.

### 8.5.3. Présentation des caractéristiques techniques des images sélectionnées

Dans le cadre de cet exercice, 3 images satellites sont retenues (Figure 98):

- 1 image Landsat-5 du 7 août 1987 (méthode simple et méthode avancée)
- 2 images Sentinel-2 des 12 juin et 07 juillet 2018 (méthode avancée uniquement)



Landsat-5, 7 août 1987

Sentinel-2, 12 juin 2018

Sentinel-2, 7 juillet 2018

**Figure 98 : les 3 images satellites retenues dans le cadre de l'analyse proposée dans cet exercice. Seule une partie de l'image Landsat-5 est montrée.**

Les **caractéristiques techniques** les plus importantes des 3 images utilisées sont reprises dans les Figure 99, Figure 100 et Figure 101.

Numéro de la bande	Longueur d'onde ( $\mu\text{m}$ )	Nom de la bande	Résolution spatiale (m)
Band 1	0.45-0.52	Blue	30
Band 2	0.52-0.60	Green	30
Band 3	0.63-0.69	Red	30
Band 4	0.76-0.90	Near Infrared (NIR)	30
Band 5	1.55-1.75	Shortwave Infrared (SWIR) 1	30
Band 6	10.40-12.50	Thermal	120 (30)*
Band 7	2.08-2.35	Shortwave Infrared (SWIR) 2	30

**Figure 99 : Caractéristiques des bandes spectrales des images Landsat-5 Thematic Mapper**

<sup>TM</sup>. (Source : [https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products))

\* La bande TM 6 a été acquise avec une résolution spatiale de 120 mètres, mais elle a été rééchantillonnée à 30 mètres de résolution spatiale.

Numéro de la bande	Longueur d'onde ( $\mu\text{m}$ )	Nom de la bande	Résolution spatiale (m)
Band 1	443	Coastal aerosol	60
Band 2	490	Blue	10
Band 3	560	Green	10
Band 4	665	Red	10
Band 5	705	Vegetation red edge	20
Band 6	740	Vegetation red edge	20
Band 7	783	Vegetation red edge	20
Band 8	842	NIR	10
Band 8A	865	Narrow NIR	20
Band 9	940	Water vapour	60
Band 10	1375	SWIR – Cirrus	60
Band 11	1610	SWIR	20
Band 12	2190	SWIR	20

**Figure 100 : Caractéristiques des bandes spectrales des images Sentinel-2** (Source : <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>)

La Figure 101 ci-dessous reprend les caractéristiques principales de 3 images satellites utilisées dans cet exercice.

	<b>Landsat-5 (1987)</b>	<b>Sentinel-2 (2018)</b>
Nom du fichier téléchargé	LT05_L2SP_173060_19870807_20201014_02_T1	S2A_MSIL1C_20180612T080611_N0206_R078_T35NRA_20180612T102410  S2B_MSIL1C_20180707T080609_N0206_R078_T35NRA_20180707T120150
Nom du satellite	LANDSAT-5 TM	Sentinel-2
Lieu dans le système WRS Landsat (Path, Row) et « Tile » de Sentinel-2	WRS_PATH = 173 WRS_ROW = 60	Tile T35NRA
Système de coordonnées	EPSG 32635 WGS 84 / UTM zone 35N	EPSG 32635 WGS 84 / UTM zone 35N
Etendue spatiale approximative d'une image/tile	170 km north-south by 183 km east-west	100 km * 100 km
Date d'acquisition	7 août 1987	12 juin 2018 7 juillet 2018
Résolution spatiale	30 m	10 m – 20 m – 60 m
Nombre de bandes spectrales	7	12
Couverture nuageuse	Partielle	Partielle
Format original des images lors du téléchargement	.tif	.jp2
Poids numérique du dossier compressé/décompressé contenant une image	138 Mo / 460 Mo	782 Mo / 782 Mo
Site web de référence pour le téléchargement	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>	<a href="https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home">https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home</a>
Page web reprenant les caractéristiques techniques des images	<a href="https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con">https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con</a>	<a href="https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi">https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi</a>

**Figure 101 : Caractéristiques principales des 3 images utilisées dans cet exercice**

#### 8.5.4. Téléchargement des images avec prétraitements dans la foulée via le plugin SCP dans QGIS (NON mis à jour)

! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel :

- **Landsat-5** : **NE PAS utiliser** les indications reprises dans cette section pour télécharger et prétraiter l'image Landsat-5 via le plugin SCP dans QGIS.
- **Sentinel-2** : **à ne pas faire** pour les images Sentinel-2 car ces images prétraitées sont mises à votre disposition dans le dossier de formation « 5\_CLASSIFICATION\_SUPERVISEE\_ANALYSE\_DIACHRONIQUE\DATA\IMAGES\SENTINEL\_2\ » en format « .tif » (confer la section 8.5.2.2 page 164) (méthode avancée uniquement)

Ouvrez ou reprenez votre projet QGIS tel que préparé selon les indications de la section « 8.3 Préparation du projet QGIS » page 142.

Le **téléchargement et les prétraitements** des images identifiées dans la section précédente via les sites web de référence (« SciHub » et « EarthExplorer ») peut se faire directement via le plugin SCP de QGIS, en particulier via :

- Menu QGIS: **SCP > Télécharger de produits (3 onglets)** (Figure 102 à Figure 105)

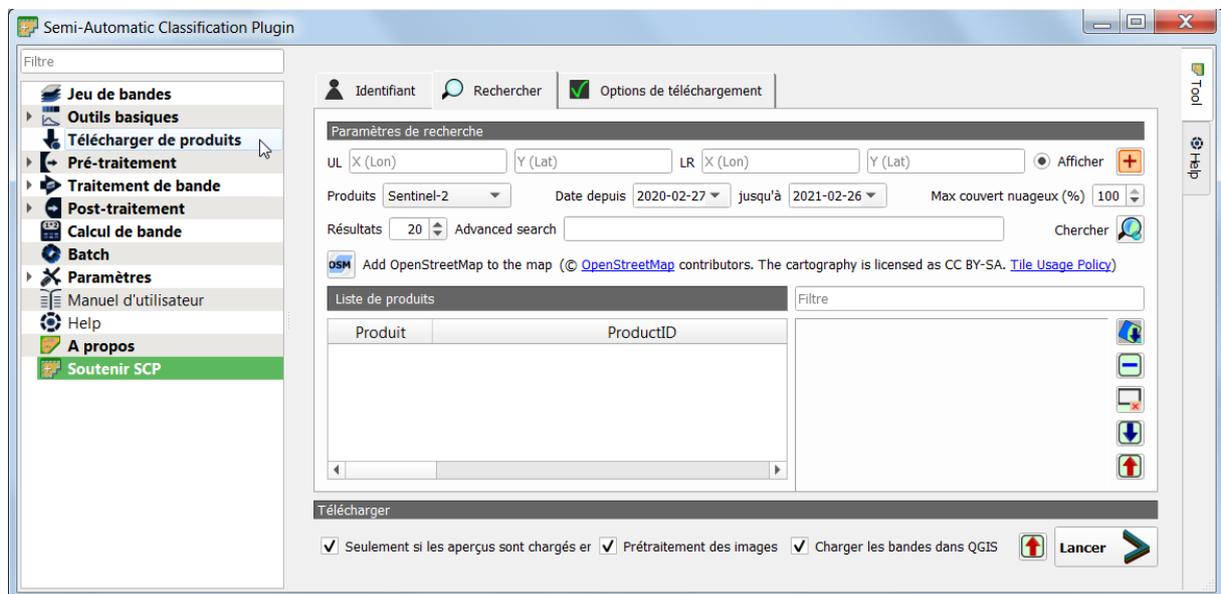


Figure 102 : Interface de l'outil « Menu SCP > Télécharger de Produits », onglet « Rechercher »

Ce menu permet de ne **télécharger qu'une partie des bandes spectrales** des images satellites, ce qui est bien pratique afin de ne pas télécharger de bandes inutiles. Dans le cadre de cet exercice, seules les bandes spectrales suivantes seront téléchargées :

- **Landsat-5** : 1, 2, 3, 4, 5 et 7 (pas la bande 6)

- **Sentinel-2** : 2, 3, 4, 5, 8, 11 (pas les bandes 1, 6, 7, 8A, 9, 10, 12)

Cette **sélection de bandes** se justifie ici par le fait que :

- La bande 6 de Landsat (bande thermique acquise à 120 m) et les bandes 1 (Coastal aerosol), 9 (Water vapour) et 10 (SWIR – Cirrus) de Sentinel-2 (à 60 m) ne sont pas d'une grande utilité pour la classification des classes d'occupation du sol.
- Les bandes 6, 7, 8A, 12 de Sentinel-2 couvrent une gamme de longueur d'ondes similaire aux autres bandes retenues.
- Cela permet de réduire la taille du jeu de données
- Cela permet d'accélérer les temps de traitements sur ces données
- Pour Landsat-5, cette sélection de bandes correspond à un paramètre de visualisation prédéfini dans SCP (SCP > Jeu de bandes > Paramètres rapides > Landsat 4-5 TM) comme vous pourrez vous en rendre compte un peu plus loin.

Ce menu permet aussi d'appliquer dans la foulée du téléchargement certains **prétraitements** (confer ci-dessous).

**La procédure à suivre pour le téléchargement et le prétraitement des images via SCP dans QGIS est reprise ci-dessous.** Elle est à exécuter une fois pour l'image Landsat-5 et une fois pour les 2 images Sentinel-2. Attention, il faut **être connecté à internet** !

#### **8.5.4.1. Connexion aux sites web sources des images satellites via le plugin SCP dans QGIS**

- **Menu SCP > Télécharger de Produits > Identifiants** (Figure 103)
  - A paramétrer comme indiqué dans la Figure 103 en utilisant vos identifiants et mots de passe personnels. La procédure d'obtention de identifiants et mots de passe a déjà été expliquée aux sections 8.5.2.3.1 page 165 et 8.5.2.4.1 page 175. Un bref rappel est donné ci-dessous.
  - **Identifiant pour télécharger l'image Landsat-5**
    - Se créer un compte ici <https://ers.cr.usgs.gov/>
    - Correspond à l'« EROS Registration System (ERS) » utilisé notamment pour accéder au site web <https://earthexplorer.usgs.gov/>
  - **Identifiant pour télécharger les images Sentinels-2**
    - Se créer un compte ici <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/self-registration>
    - Le « Service » à indiquer dans l'interface est <https://scihub.copernicus.eu/apihub>

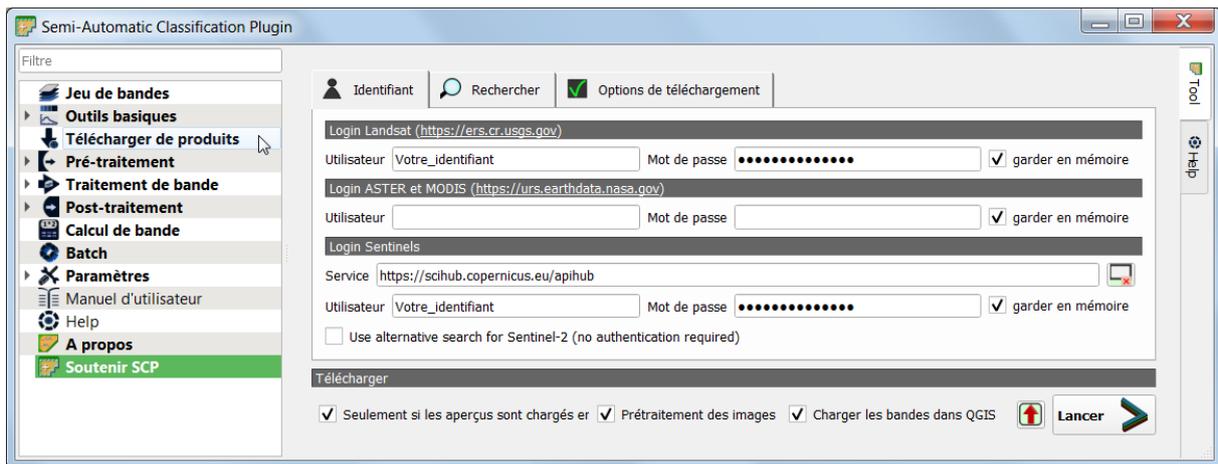


Figure 103 : Onglet « Identifiant » du « Menu SCP > Télécharger de Produits > Identifiants »

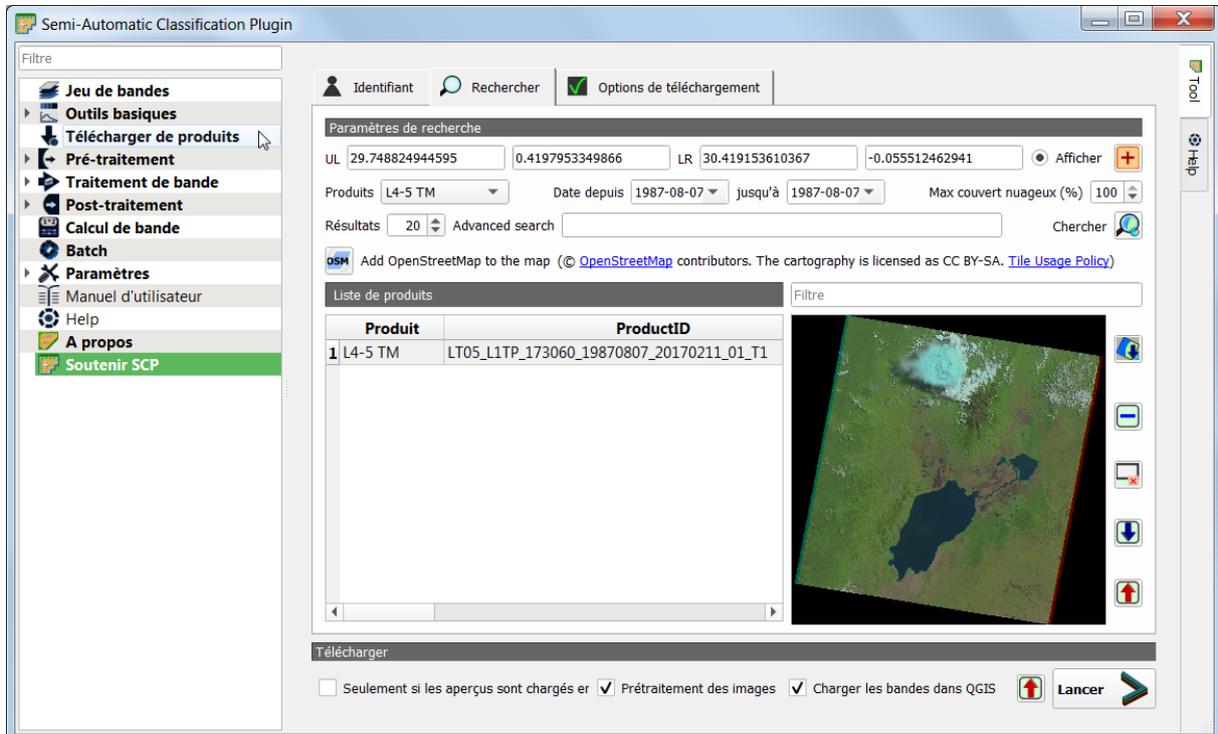
### 8.5.4.2. Recherche d'images via le plugin SCP dans QGIS

- **Menu SCP > Télécharger de Produits > Rechercher (Figure 104)**
  - A paramétrer comme indiqué dans la Figure 104.
  - Choisissez le bon type de « **Produits** » (capteur d'intérêt)
  - Indiquez une gamme de **dates** correspondant à la fenêtre temporelle d'intérêt, et si vous connaissez déjà la date précise de l'image à télécharger, mentionnez 2 fois cette même date (dans les 2 menus « depuis/jusqu'à ») afin de ne faire apparaître dans les résultats de la recherche que l'image d'intérêt.
  - Le bouton  permet d'ajouter les coordonnées de la **zone** d'intérêt interactivement:
    - Cliquez sur ce bouton
    - Cliquez ensuite dans l'interface de QGIS avec
      - un clic gauche sur le coin supérieur gauche de la zone d'intérêt et avec
      - un clic droit sur le coin inférieur droit de la zone d'intérêt
    - pour créer un rectangle rouge identifiant la zone de recherche d'images. Les coordonnées géographiques correspondantes apparaissent dans la fenêtre « Rechercher ».
  - Cliquez sur le bouton de « Chercher »  qui, après un certain temps de recherche, fera apparaître dans la fenêtre « Liste de produits », les images correspondant aux critères de recherche (Figure 104).
  - **ATTENTION !!** AVANT de procéder au téléchargement, il est très important de ne laisser dans cette fenêtre « Liste de produits » **QUE la ou les images que vous voulez effectivement télécharger** car TOUTES les images présentes dans cette liste seront téléchargées. Si votre requête de recherche d'images a résulté en une liste de plusieurs images et que vous laissez ces images dans la liste, elles seront toutes téléchargées, ce qui risque de prendre un temps plus

ou moins important et de résulter en un bug de QGIS ou en une saturation de votre disque dur, en fonction du nombre d'images concernées. Pour supprimer de la liste les images que vous ne souhaitez pas télécharger, sélectionnez-les dans la liste, puis cliquez sur le bouton .

○ Spécificités aux images **Sentinel-2**

- Le filtre « T35NRA » permet de ne rechercher que les images Sentinel-2 correspondant à cette « tile »
- Faites la recherche pour les 2 images Sentinel-2 (2 dates) l'une après l'autre pour avoir en définitive les 2 images d'intérêt dans la liste des produits
- **ATTENTION !** EN DATE DU 31 mars 2020, il n'est plus possible de rechercher de cette manière des images Sentinel-2 remontant à avant décembre 2018 (archives de plus de 1 an et 4 mois) (confer <https://scihub.copernicus.eu/userguide/LongTermArchive>). Vous pouvez cependant essayer. Peut-être que la situation a changé entre-temps. Sinon préférez la solution proposée dans la section 8.5.2.4 page 175 avec téléchargement directement depuis le site web de référence. Vous pourrez alors faire les prétraitements comme indiqué dans la section 8.6 page 193. Une autre option est d'utiliser des images Sentinel-2 plus récentes.



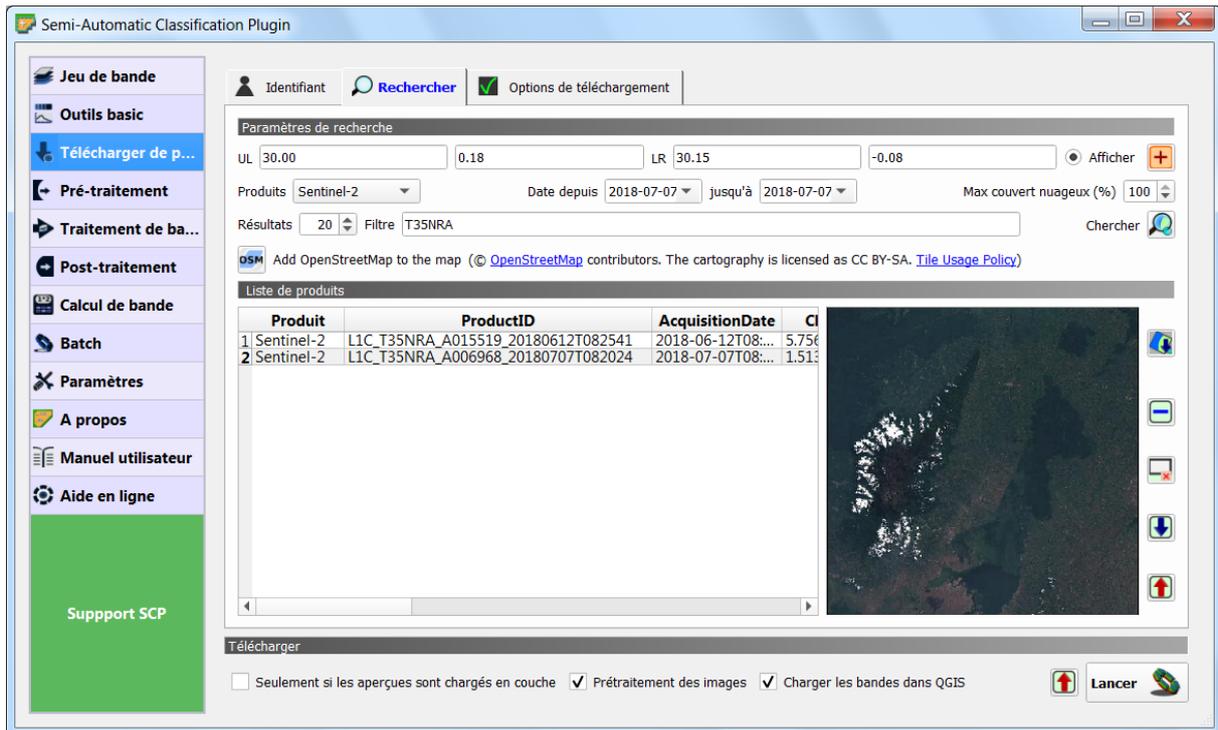


Figure 104 : Menu « Rechercher » du plugin SCP dans QGIS paramétré pour la recherche des images Landsat-5 (haut) et Sentinel-2 (bas, avec l'ancienne interface de SCP) utiles à cet exercice avec affichage des images résultant des recherches

### 8.5.4.3. Options de téléchargement des images via le plugin SCP dans QGIS

- Menu SCP > Télécharger de Produits > Options de téléchargement
  - Cochez uniquement les bandes d'intérêt pour cet exercice comme expliqué ci-dessus (section 8.5.4 page 183) et indiqué dans la Figure 105, sans oublier les **données auxiliaires** (qui contiennent notamment la précieuse information sur la couverture nuageuse).

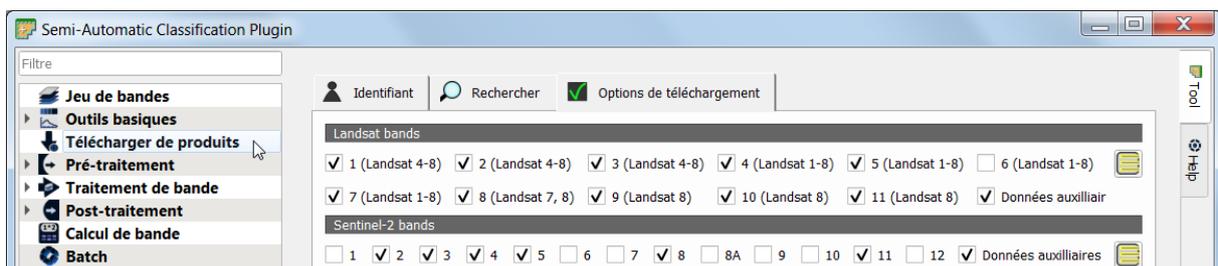


Figure 105 : Options de téléchargement du plugin SCP

- Menu SCP > Télécharger de Produits > Ligne « Télécharger » en bas de l'interface (Figure 104)
  - Décochez toujours « Seulement si les aperçus sont chargés en couche » car cette option semble empêcher tout téléchargement,
  - Cochez « Prétraitement des images » pour appliquer les prétraitements qui seront sélectionnés dans la section suivante

- **Cochez « Charger les bandes dans QGIS »** pour charger automatiquement les bandes dans QGIS après téléchargement et prétraitements
- **! NE PAS ENCORE LANCER LE TELECHARGEMENT !** Il faut d'abord paramétrer les prétraitements comme indiqué dans la section suivante.

#### 8.5.4.4. Prétraitement des images dans la foulée du téléchargement via le plugin SCP dans QGIS

- **Menu SCP > Prétraitement**
  - Ce menu permet de **paramétrer les prétraitements** à appliquer automatiquement aux images téléchargées si la case « **Prétraitement des images** » est cochée dans l'interface de téléchargement
  - Paramétrez comme indiqué à la Figure 106
    - **Choisir le bon onglet** en fonction du type de produit sur lequel appliquer les prétraitements
    - « **Appliquer la correction atmosphérique DOS1** » : permet une transformation des DN (Digital Number) en réflectance.
    - « **Créer un jeu de bandes...** » permet de créer un « Jeu de bandes » qui sera disponible dans le menu SCP > Jeu de bandes (confer section 8.6.2 page 195 pour plus d'explications sur cette notion de « Jeu de bandes »)
    - Remarque : pour Sentinel-2, l'application d'un prétraitement rééchantillonne les bandes de 20 m à 10 m, ce qui alourdi donc l'image prétraitée.
    - Pour plus d'information sur ces prétraitements, le lecteur est renvoyé à la documentation en ligne <https://fromgistors.blogspot.com/p/user-manual.html>

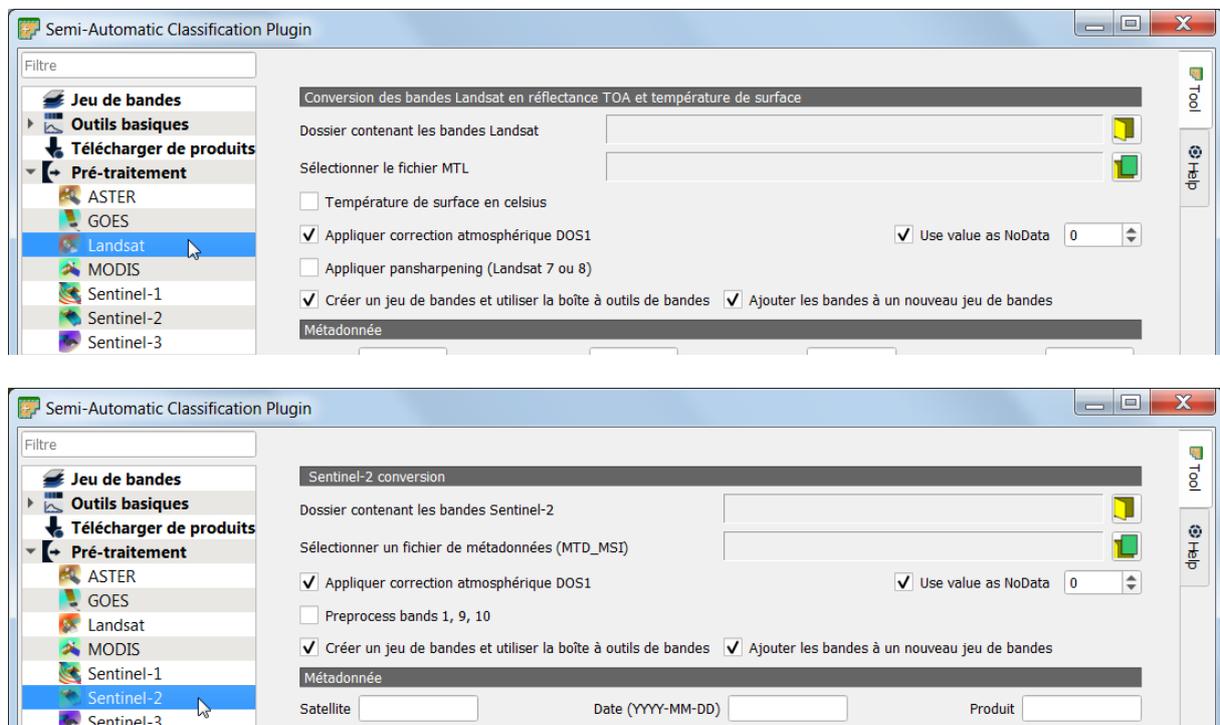


Figure 106 : Paramétrisation des prétraitements à appliquer aux images Landsat-5 et Sentinel-2

### 8.5.4.5. Téléchargement des images avec prétraitement dans la foulée via le plugin SCP dans QGIS

- Menu SCP > Télécharger de Produits >

- Lancez le téléchargement et les prétraitements via le bouton 
- Sélectionnez le répertoire de sortie (un nouveau répertoire sera créé pour chaque image).
  - Landsat-5 : répertoire « ...\DATA\IMAGES\LANDSAT\_5\ »
  - Sentinel-2 : répertoire « ...\DATA\IMAGES\SENTINEL\_2\ »
- Le téléchargement/prétraitement peut prendre **plusieurs minutes** (voir la barre de progression du téléchargement dans l'interface principale de QGIS. Par défaut, une petite musique accompagne le début et la fin de l'opération)
  - 3 minutes pour l'image Landsat-5
  - 10-15 minutes par image Sentinel-2

Les données téléchargées ET prétraitées devraient **se charger automatiquement dans l'interface de QGIS** à la fin de l'opération (Figure 107).

- Réorganisez l'ordre des bandes téléchargées dans le panneau « Couches » de QGIS afin de faciliter la visualisation des données dans l'interface de visualisation. Il vous est conseillé de placer les bandes d'une image donnée dans le « groupe » de couches préexistant dans le projet QGIS mis à votre disposition et portant le nom du type d'image considérée, soit « LANDSAT5\_19870807 »   LANDSAT5\_19870807 ou « SENTINEL2 »   SENTINEL2 . Remarque : un « groupe de couches » peut être créé via le bouton  disponible dans le panneau « Couches ».

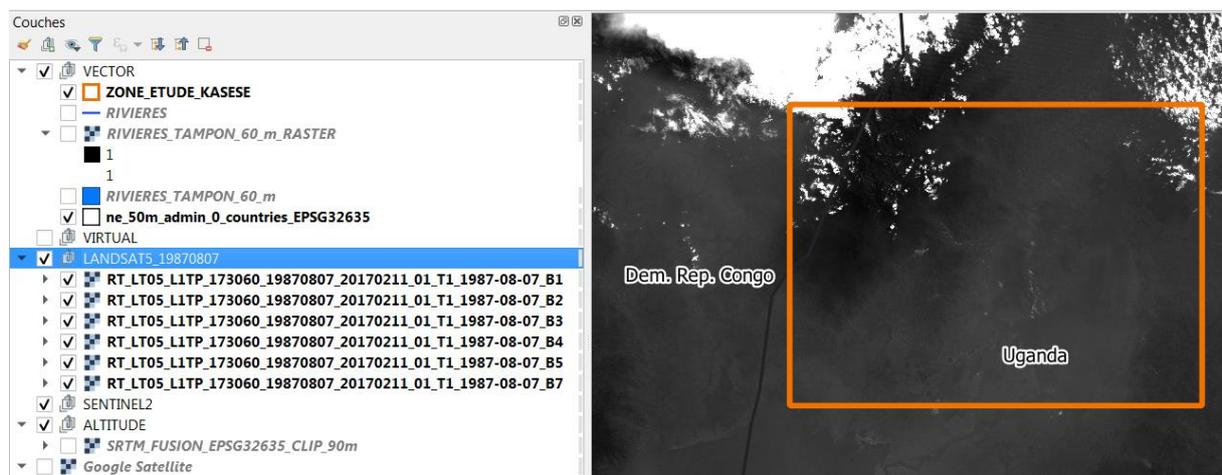
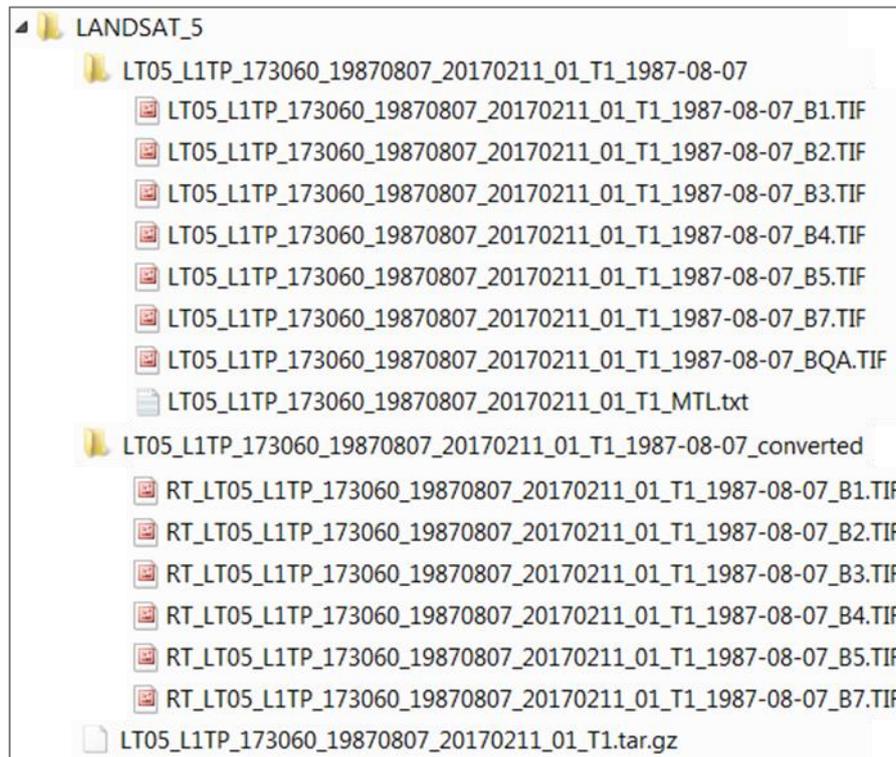


Figure 107 : Interface de visualisation QGIS et panneau « Couches » contenant les 6 bandes Landsat-5 prétraitées (préfixe « RT\_ ») et réorganisées dans le « groupe » « LANDSAT5\_19870807 »

Les données sont également enregistrées dans le répertoire choisi ci-dessus, sous la forme de **2 dossiers par image** (exemple à la Figure 108 pour Landsat-5):

- **Un dossier pour l'image brute et les données auxiliaires**
  - Landsat-5 : 120 Mo
  - Sentinel-2 : ~500 Mo
- **Un dossier pour l'image prétraitée** (dossier avec suffixe « \_con » ou « \_converted »)
  - Landsat-5 : 289 Mo
  - Sentinel-2 : 1.24 Go par image (bandes 2, 3, 4, 5, 8, 11, toutes les bandes considérées ont été ré échantillonnées à 10m)



**Figure 108 : Répertoire « LANDSAT\_5 » dans l’explorateur Windows après téléchargement avec prétraitement dans la foulée via le plugin SCP dans QGIS, contenant les bandes originales décompressées (en haut) et prétraitées (en bas, dossier « converted » avec préfixe « RT\_ »)**

Le nom des fichiers prétraités commencent par le préfixe « RT\_ ».

Enfin, comme demandé, des « **Jeu de bandes** » ont été créés pour chaque image prétraitée (Figure 109). Pour le vérifier :

- **Menu SCP > Jeu de bandes** (« Band set 1, Band set 2, etc).

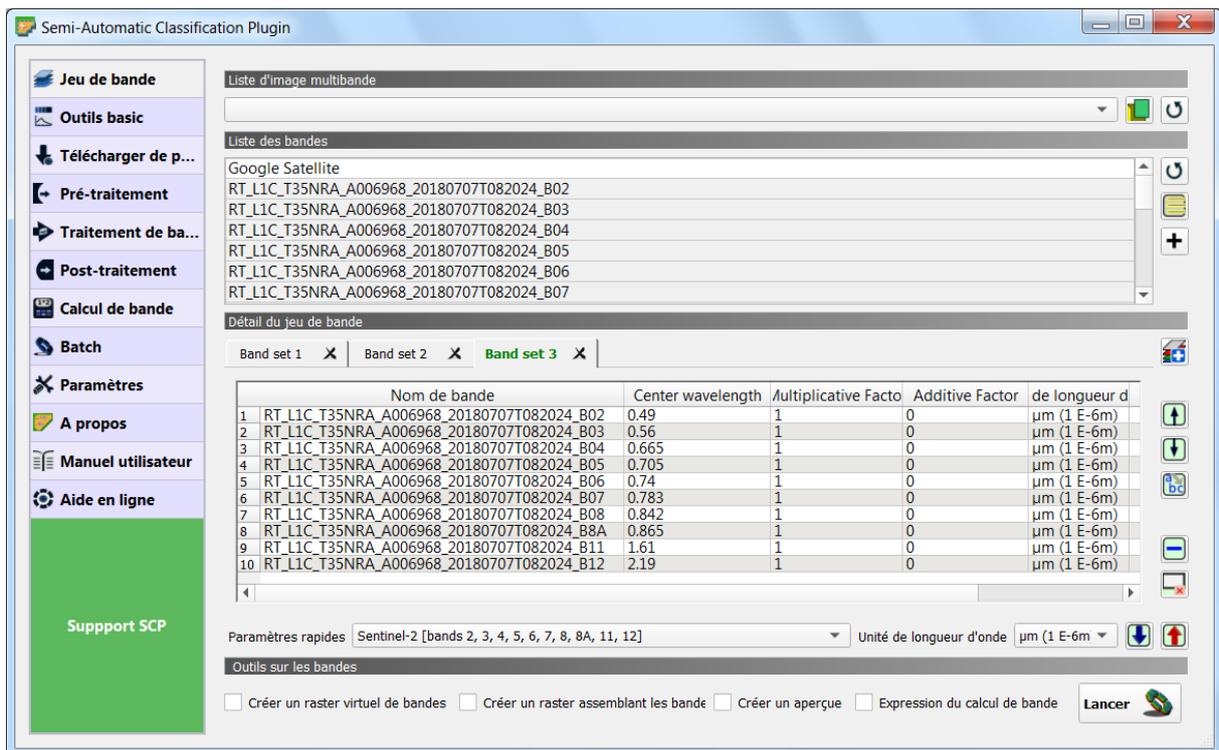
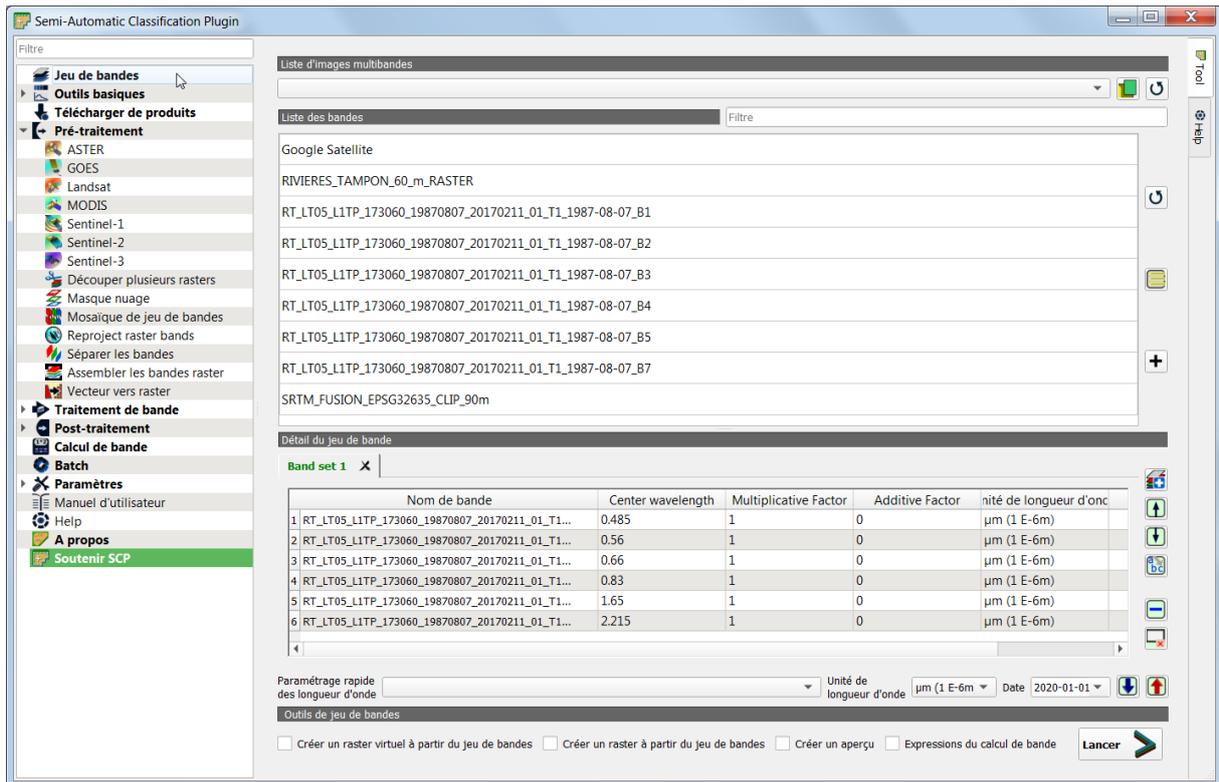


Figure 109 : Divers « Jeux de bandes » (« Band set ») visibles dans le plugin SCP > menu « Jeu de bandes » après téléchargement et prétraitements des images avec création d'un jeu de bandes, pour Landsat-5 (en haut) et Sentinel-2 (avec ici plus de bandes que recommandé dans ce manuel) (en bas, avec une ancienne interface du plugin SCP).

L'utilité et la gestion d'un « Jeu de bandes » sont décrites dans la section 8.6.2 page 195.

## 8.6. Prétraitements des images satellites non couplés au téléchargement via le plugin SCP dans QGIS

Les prétraitements ont pour objet de préparer les images avant la réalisation des traitements thématiques (classification supervisée et analyse diachronique dans ce cas-ci).

### 8.6.1. Conversion de radiance vers réflectance / correction atmosphérique DOS1 et création d'un « Jeu de bandes » **(NON mis à jour)**

**! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel :** cette section ne doit pas être réalisée ! (confer la section 8.5.2.2 page 164)

- **Ni pour Landsat-5** (car ce prétraitement n'est pas utile car l'image Landsat-5 a déjà subi une correction atmosphérique avant son téléchargement depuis le site web de référence),
- **Ni pour Sentinel-2** (car cela prend beaucoup de temps et les images prétraitées sont mises à disposition dans le dossier « ...\\DATA\\IMAGES\\SENTINEL\_2\\ »)

Cette section présente la procédure à suivre dans le plugin SCP pour réaliser la conversion des valeurs de pixels depuis des valeurs de radiance vers des valeurs de réflectance / correction atmosphérique DOS1 et la création d'un « Jeu de bandes » sur les images Landsat-5 et Sentinel-2 dans le cas où des images n'ayant pas encore subi de correction atmosphérique ont été directement téléchargées via les sites web source présentés dans la section 8.5.2 et non via le plugin SCP.

Voici la procédure à suivre pour appliquer ces **prétraitements** dans SCP.

- **Menu SCP > Prétraitement > Landsat OU Sentinel-2**
  - Configurer l'interface comme illustrée dans la Figure 110 (ancienne interface de SCP)
  - Cliquez sur  et sélectionnez le répertoire contenant les bandes Landsat ou Sentinel-2 :
    - ressemblant à ceci pour Sentinel-2 :
      - \\S2B\_MS~1\\S2B\_MS~1.SAF\\GRANULE\\L1C\_T35NRA\_A006968\_20180707T082024\\IMG\_DATA
    - → les bandes apparaissent dans le tableau de l'interface
  - Cliquez sur  pour sélectionner le fichier de métadonnées : "...MTL.txt" pour Landsat-5 OU "MTD\_MSIL1C.xml" pour Sentinel-2
  - Cochez l'option "Appliquer correction atmosphérique DOS1"

- Cliquer sur  et sélectionnez le répertoire de sortie qui peut être le même que celui des images en entrée
  - 1 min 30 pour toutes les bandes Landsat5
  - 6 min pour toutes les bandes d'une image Sentinel-2
- Les bandes converties sont automatiquement chargées dans QGIS (nom de fichier commençant par « RT\_ »).
- Cette opération ne rééchantillonne pas les bandes et conserve donc les résolutions spatiales originales des différentes bandes.

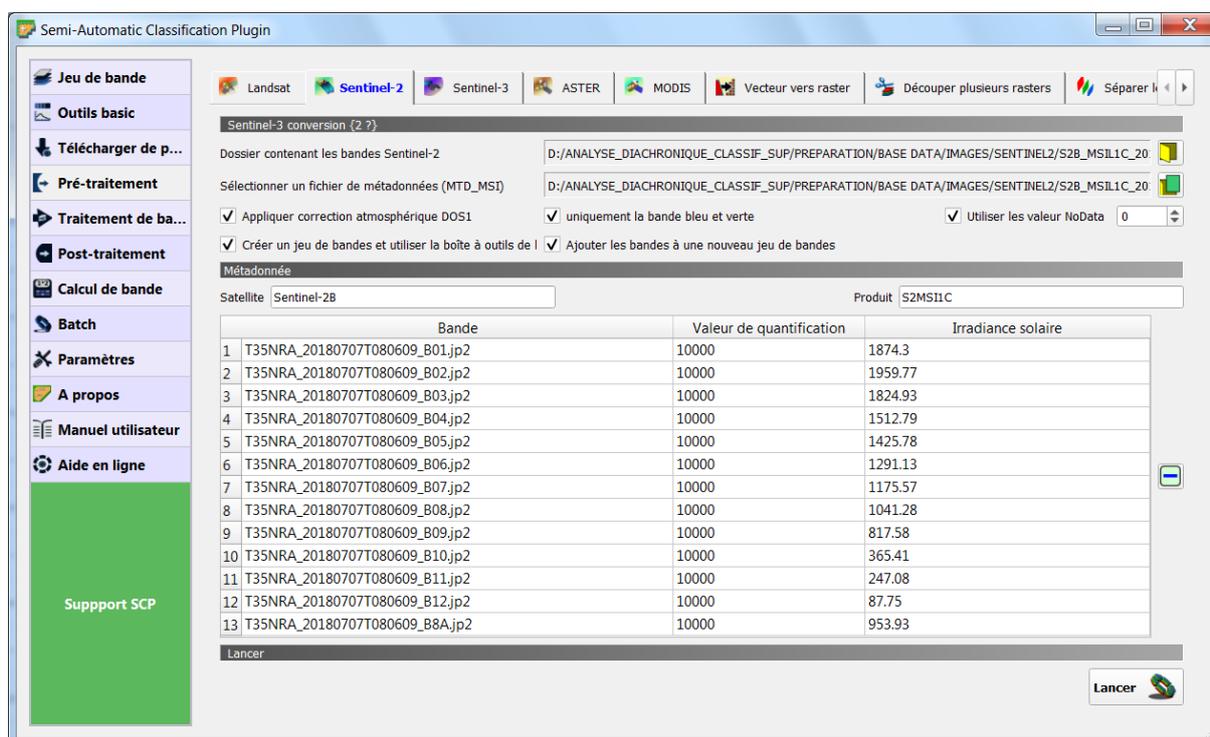


Figure 110 : Menu « SCP > Pré-traitement > Sentinel-2 » paramétré pour un prétraitement à appliquer sur toutes les bandes spectrales de Sentinel-2 (dans le cadre de cet exercice, il est conseillé de ne pas travailler avec toutes les bandes) (cette illustration correspond à l'ancienne interface de SCP).

## 8.6.2. Création d'un « Jeu de bandes » et affichage des images dans QGIS

**! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel** (confer la section 8.5.2.2 page 164) :

- **Landsat-5** : utilisez les indications de cette section pour **créer un « Jeu de bandes »** à partir des bandes de l'image Landsat-5 décompressées.
- **Sentinel-2** : utilisez les indications de cette section pour **créer un « Jeu de bandes »** pour chaque image Sentinel-2 fournies dans le dossier « ...\DATA\IMAGES\SENTINEL\_2 ».
- **Visualisation des images d'un « Jeu de bandes »**: une fois les « Jeux de bandes » créés, affichez-les dans QGIS en suivant les indications ci-dessous. Par soucis de rapidité, inutile de
  - « Créer un raster virtuel de band »
  - « Créer un raster assemblant les bandes »Et optez plutôt pour la méthode de création d'un
  - « **Virtual band set** »

Cette étape ne constitue pas à proprement parler un « prétraitement » mais est présentée ici pour respecter la logique chronologique du chemin méthodologique proposé.

Une fois les images décompressées et éventuellement transformées en réflectance (si nécessaire) (sections 8.5.2 et 8.6.1) elles peuvent être affichées dans QGIS.

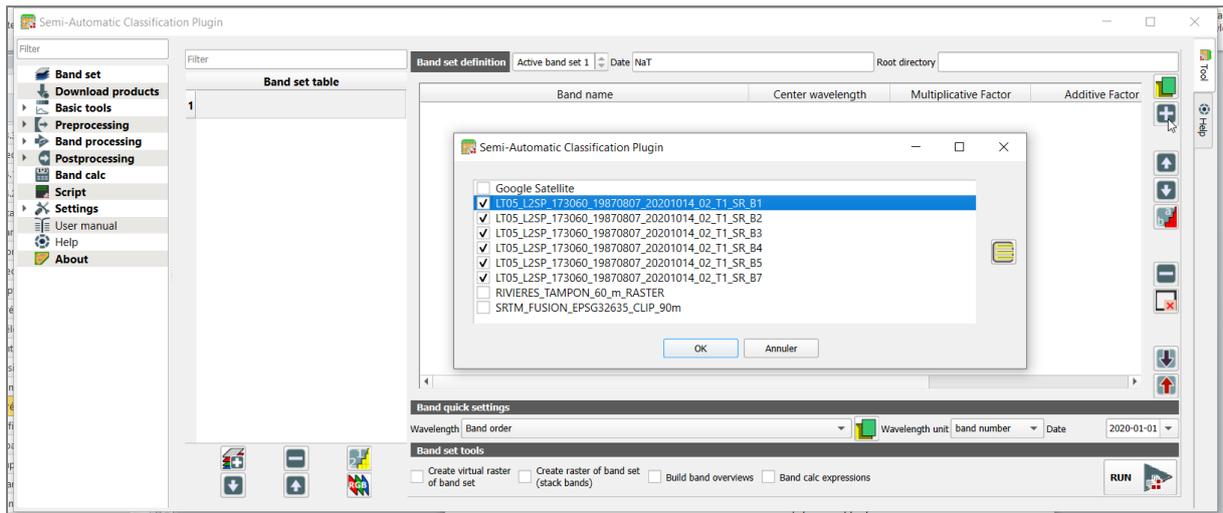
Le plugin SCP permet la création/utilisation de « **Jeux de bandes** » pour faciliter

- la **visualisation** des images multi-bandes et
- l'application d'un même **(pré-)traitement** sur l'ensemble des bandes en une seule opération.

Cette section explique comment créer un « Jeu de bandes » et comment l'utiliser pour la visualisation des images dans QGIS.

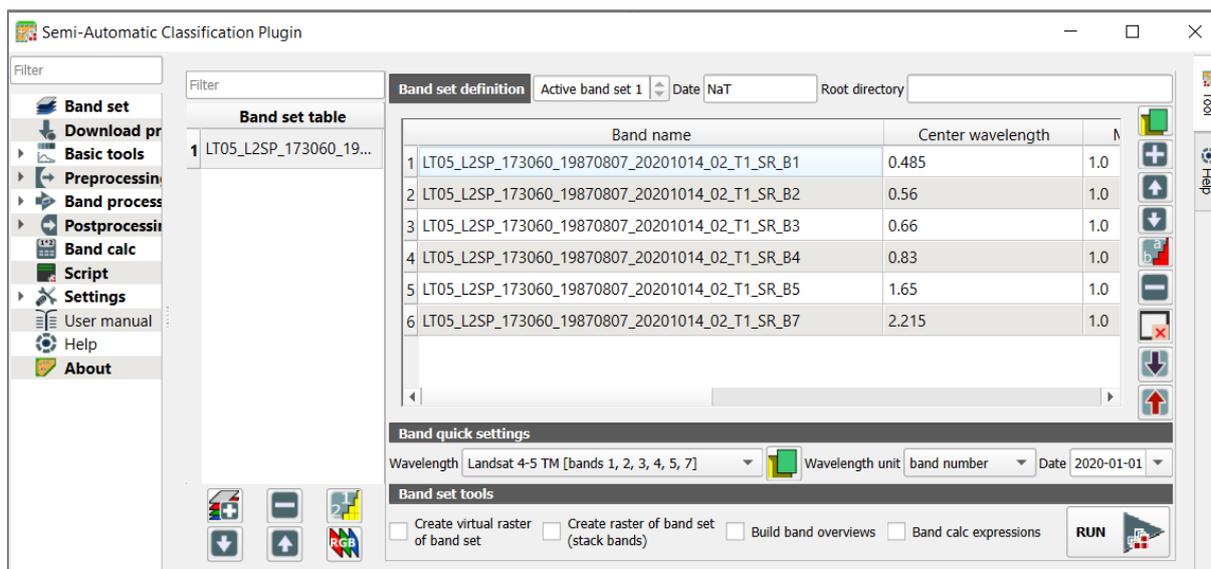
### 8.6.2.1. Création d'un « Jeu de bandes »

- **Ajouter les images au projet QGIS**, via la manière traditionnelle d'ajouter des données raster dans QGIS  > Raster.
- **Menu : SCP > Jeu de bandes ou bouton** 
  - Utilisez le bouton  « Ajouter des bandes chargées dans QGIS » pour sélectionner (cocher) les bandes spectrales à partir desquelles créer un jeu de bandes.
    - Landsat-5 : bandes 1, 2, 3, 4, 5, 7
    - Sentinel-2 : bandes 2, 3, 4, 5, 8, 11 (pour ne pas travailler sur toutes les bandes et par là alléger les traitements)



- Via le menu « **Paramètres rapides** » ou « **Band quick settings** », si votre « Jeu de bandes » correspond à l'un des paramétrages prédéfinis (par exemple si votre jeu de bandes pour une image Landsat-5 reprend les bandes 1, 2, 3, 4, 5, 7 (pas la bande 6)), choisissez le paramétrage prédéfini correspondant (par exemple **Landsat 4-5 TM [bands 1, 2, 3, 4, 5, 7]**) pour l'appliquer à votre « Jeu de bandes », ce qui aura pour effet de classer les bandes dans le bon ordre et d'y ajouter une série d'informations, dont les longueurs d'ondes correspondantes (cette information sur les longueurs d'ondes est réutilisée lors de la création des graphiques de signature spectrale : confer section 8.8.7.1 page 256). Remarque, pour les images Sentinel-2, le paramétrage rapide correspond aux bandes 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8A, 11, 12. Sinon vous pouvez entrer ces informations manuellement via un double-clic sur la case à éditer.
  - **ATTENTION ! Cet outil n'ordonne pas toujours parfaitement les bandes!** Vérifiez toujours le résultat et corrigez l'ordre des bandes le cas échéant avec les flèches ou le bouton  qui sera utile dans certains cas mais pas dans tous
- Il est possible de créer plusieurs jeux de bandes via le bouton de création de nouveaux jeux de bandes 

**Un exemple de jeu de bandes pour l'image Landsat-5 est présenté ci-dessous.**



Cette même interface (menu SCP > Jeu de bandes) permet également de créer un **raster virtuel** et/ou un **raster assemblant les bandes** comme détaillé ci-dessous. Ces opérations ne sont cependant pas nécessaires et ne seront pas commentées dans le cadre de ce manuel.

- Cochez « **Créer un raster virtuel de band** » : crée un **raster virtuel** permettant de réaliser des compositions colorées de l'image sans créer un vrai raster qui prendrait de la place sur votre disque dur (cela crée un petit fichier se terminant par « **Bvirt\_rast.vrt** » qui vient aussi s'ajouter dans l'interface QGIS)
- Cochez « **Créer un raster assemblant les bandes** » (**layerstack**): crée un **vrai raster multi-bandes** permettant de réaliser des compositions colorées de l'image MAIS qui prendra de la place sur votre disque dur (cela crée un fichier image unique multi-bandes se terminant par « **Bstack\_raster.tif** » qui vient aussi s'ajouter dans l'interface de QGIS)

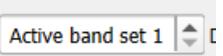


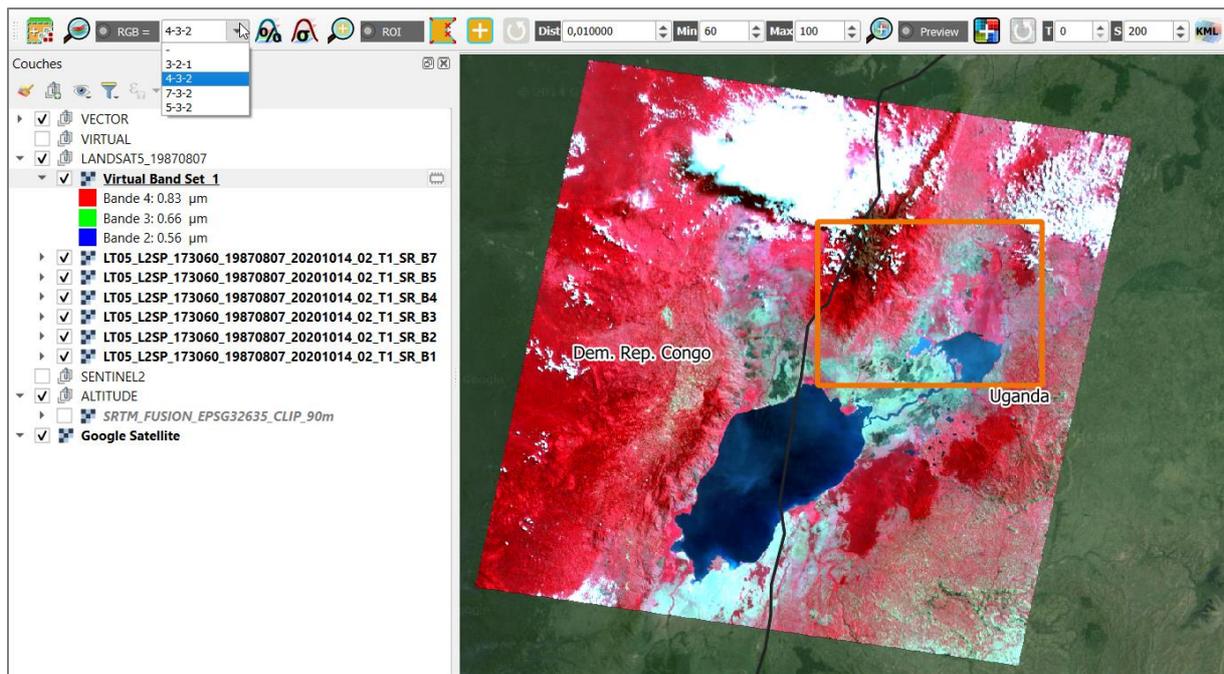
- Lancez l'opération via le bouton
- Sélectionnez le répertoire de sortie

### 8.6.2.2. Affichage d'une composition colorée des images satellites

Pour visualiser une composition colorée des images satellite dans QGIS, plusieurs possibilités existent :

Si vous avez créé un « jeu de bandes » comme indiqué à la section précédente ou qu'un « jeu de bandes » est disponible dans le plugin SCP, vous pourrez l'utiliser pour créer un « **Jeu de bandes virtuel** » ou « **Virtual band set** » via le plugin SCP. Ce « **Virtual band set** » permettra d'alterner facilement/rapidement des compositions colorées d'un même raster et de réaliser des améliorations de contraste. Pour ce faire :

- **Menu SCP > Jeu de bandes :**
  - Activer le « Jeu de bandes » d'intérêt pour lequel créer un « **Virtual band set** » via le bouton « Band set definition »   . Si vous avez un seul jeu de bande, vous n'aurez aucun choix. Vous pouvez aussi renommer (sans accent, etc) votre jeu de bandes si vous voulez (facultatif).
- **Dans l'interface principale de QGIS > panneau Couches :** cliquez à l'endroit où vous désirez que votre virtual band set vienne s'ajouter.
- **Dans l'interface principale de QGIS > Barre d'outils SCP > boutons**   (ou via le menu SCP > Outils basic > Liste RGB) > inscrire manuellement (ou sélectionner) la/les **compositions colorées souhaitées** (ex : 3-2-1 ou 5-3-2) dans le menu déroulant (confer image ci-dessous).
  - **ATTENTION !** Les numéros font référence à l'ordre des bandes dans la table du « Jeu de bandes » actif (numéros dans la marge gauche de cette table) **ET PAS AUX NUMEROS OFFICIELS DES BANDES SPECTRALES !** En conséquence, si vous voulez visualiser une **composition « vraies couleurs » ou « couleurs naturelles »** (confer section 8.7.4.1 page 231), vous devrez indiquer dans le menu déroulant présenté ci-avant les numéros de lignes du jeu de bandes qui correspondent aux bandes spectrales des longueurs d'onde Rouge, Verte et Bleue, dans cet ordre.
  - Après un petit délai, le « **Virtual band set X** » vient s'ajouter dans le panneau « Couches » de QGIS (« X » fait référence au numéro du « Jeu de bandes » dans le menu « Jeu de bandes »).
  - Attention, si vous avez plusieurs « Virtual band set X » la modification de la composition colorée via le menu déroulant **ne s'applique QUE sur le jeu de bandes actif/sélectionné dans le menu « Jeu de bandes » !**
  -  permettront d'appliquer des **améliorations de contrastes** qui seront calculées sur la partie de l'image actuellement visible dans l'interface de visualisation spatiale de QGIS (vous pouvez zoomer ou dézoomer sur l'image avant d'appliquer l'amélioration de contraste pour voir l'impact sur cette opération).



**Figure 111 : Affichage d'une composition fausses couleurs de l'image Landsat-5 dans QGIS via la réalisation d'un « virtual band set » via un jeu de bandes créé dans le plugin SCP de QGIS.**

Si vous travaillez sur un des 2 type de fichiers « **Bvirt\_rast.vrt** » ou « **Bstack\_raster.tif** » (confer section précédente, ce type de fichier n'est pas nécessaire et ne sera pas commenté dans le cadre de ce manuel) notez les options de symbologie suivantes :

- **Modification de la symbologie** raster (choix des bandes, amélioration de contraste, etc) via un
  - clic-droit sur la couche > Propriétés... > Symbologie à adapter...
- **Amélioration de contraste** très utile qui adapte la symbologie automatiquement en fonction de la zone du raster visualisée dans le menu :
  - Rendu des bandes raster > Paramètres de valeurs Min/Max > Statistiques de l'emprise > Emprise actualisée
- **Application d'exactly la même symbologie à 2 images** différentes et donc les rendre comparable visuellement, il suffit de :
  - Appliquer une symbologie donnée à une image
  - Cliquer-droit sur cette image dans le panneau Couches de QGIS > Styles > Copier le style
  - Cliquer-droit sur l'image à laquelle appliquer le style dans le panneau Couches de QGIS > Styles > Coller le style

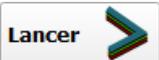
### 8.6.3. Découpage spatial de l'image sur la zone d'intérêt (en anglais : « Spatial subset », « clip », « crop »)

**! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel :** (confer la section 8.5.2.2 page 164) :

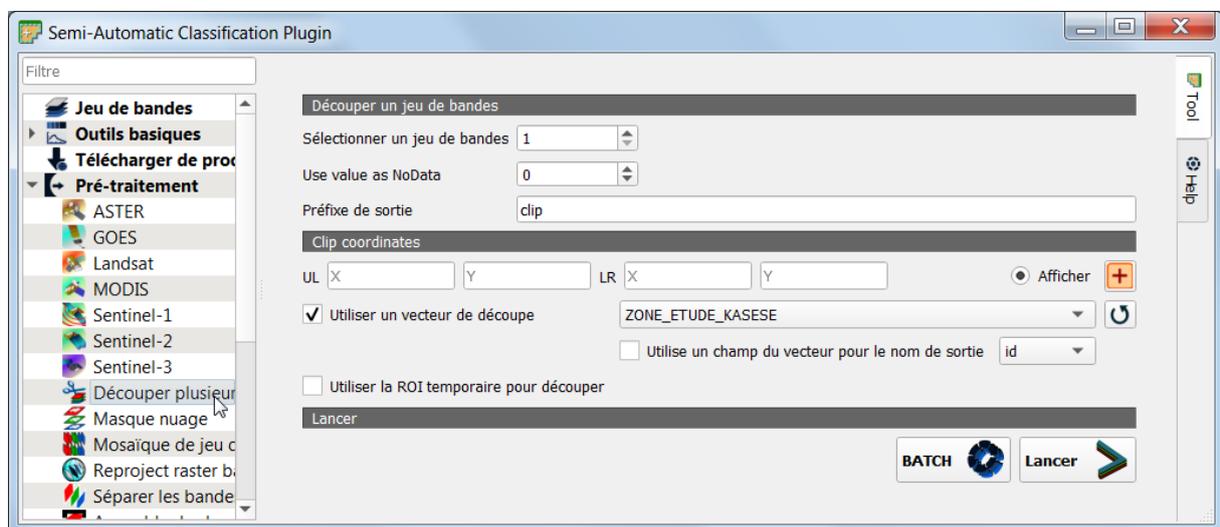
- **Landsat-5:** effectuez un découpage spatial sur l'image Landsat-5 à l'aide de cette section
- **Sentinel-2 :** à ne pas faire car les images mises à disposition dans le dossier « ...\DATA\IMAGES\SENTINEL\_2\... » sont déjà découpées spatialement (car sinon elles sont trop volumineuses)

Les images satellites téléchargées couvrent parfois une zone plus grande que la zone d'intérêt. Dans ce cas, il convient, afin de réduire la taille des données manipulées et par là d'accélérer la vitesse des traitements et de réduire la place que prendront les données générées sur votre disque dur, de **découper spatialement l'image** pour ne conserver que la **zone d'intérêt**.

Cette opération se déroule en **2 temps** dans SCP :

- **Définition d'un jeu de bandes à découper** (si le jeu de bandes existe déjà, pas besoin de le recréer):
  - Confer section 8.6.2.1 ci-dessus
- **Découpage spatial d'un « Jeu de bandes » créé préalablement (Figure 112):**
  - Menu : **SCP > Prétraitement > Découper des bandes rasters**
    - Sélectionnez le **numéro du « Jeu de bandes »** à découper (le numéro du jeu est disponible via le menu « Jeu de bandes »)
    - **Préfixe de sortie** : « clip\_ » : le préfixe qui sera utilisé pour le nom des bandes découpées.
    - Pour **définir la zone à découper:**
      - Utilisez, dans le cadre de cet exercice, le **shapefile** « ZONE\_ETUDE\_KASESE.shp ». Attention le shapefile doit être dans le même système de coordonnées que les bandes raster à découper !
      - Une autre possibilité serait de délimiter la zone de manière **interactive** en cliquant sur  puis, en cliquant, dans la fenêtre de visualisation spatiale de QGIS, avec un clic-gauche sur le coin supérieur gauche de la zone à délimiter, et avec un clic-droit sur le coin inférieur droit de la zone à délimiter. Ou entrer les coordonnées manuellement.
  - Cliquez sur  et sélectionnez le répertoire de sortie qui peut être le même que celui des images en entrée

- ~ 10 secondes pour 6 bandes Landsat-5 (37 Mo)
- ~ 2min30 pour 6 bandes 2-3-4-5-8-11 Sentinel-2 en résolution originale (10 et 20 m) (430 Mo)
- (~ 4min30 pour 10 bandes Sentinel-2 à 10 m (650 Mo))
- Les bandes converties sont automatiquement
  - enregistrées dans le répertoire de sortie
  - chargées dans QGIS (nom de fichier commençant par le préfixe « clip\_ »).
    - Attention ! Veillez à organiser correctement vos données dans le panneau « Couches » de QGIS, éventuellement à l'aide du bouton « Ajouter un groupe » 
- **Visualisation du « Jeu de bandes » découpé spatialement**
  - **Confer les indications de la section 8.6.2 page 195.**



**Figure 112 : Menu de SCP permettant de réaliser un découpage spatial sur un « Jeu de bandes »**

#### 8.6.4. Regroupement/assemblage des bandes spectrales individuelles d'une image dans un fichier image unique multi-bandes (anglais : layer stacking)

Ce prétraitement ne sera pas utilisé dans le cadre de cet exercice. Il est mentionné à titre d'information.

Lorsque les différentes bandes spectrales d'une image satellite sont disponibles séparément, sous la forme de fichiers indépendants il peut être pratique, avant de faire d'autres traitements, de combiner les différentes bandes spectrales en une seule image unique multi-bandes qui sera de la sorte plus facilement manipulable car l'ensemble des traitements pourront s'appliquer simultanément sur l'ensemble des bandes spectrales regroupées.

Cette combinaison de bandes spectrales peut se faire via une opération d'assemblage/regroupement/collage des bandes (anglais : « Layer stacking »).

##### Outils dans QGIS:

- **Fonction SCP** : SCP > Pré-traitement > Assembler les bandes raster
- **Fonction QGIS** : Raster > Divers > Fusionner... > et cocher « Placer chaque fichier en entrée dans une bande séparée » ;

Le layerstack a pour conséquence de rééchantillonner toutes les bandes concernées à la même résolution spatiale.

Si l'outil le permet, classez les bandes spectrales dans le bon ordre avant l'assemblage et choisissez la résolution spatiale de l'image résultante. Il est conseillé, dans le cas des images LANDSAT, d'utiliser 30 m de résolution spatiale, même si vous considérez dans l'assemblage une bande de meilleure résolution spatiale (exemple : la bande 8 des images LANDSAT8 qui est à 15m). Attribuer une plus haute résolution spatiale ne fera qu'alourdir fortement votre image et sera probablement inutile. Vous pouvez aussi exclure la bande à 15 m.

#### 8.6.5. Pan-sharpening

Ce prétraitement ne sera pas utilisé dans le cadre de cet exercice. Il est mentionné à titre d'information.

La technique de pan-sharpening est une méthode qui permet de fusionner une bande spectrale de plus haute résolution spatiale (par exemple, la bande panchromatique des images LANDSAT à 15m) avec une ou plusieurs bandes spectrales de moins haute résolution spatiale (par exemple, les autres bandes des images LANDSAT à 30m) afin d'obtenir une image qui présente à la fois la meilleure résolution spatiale (15m) et les qualités spectrales des bandes à 30m. L'image résultante facilite la photo-interprétation de l'image.

### 8.6.6. Rééchantillonnage des images vers une plus faible résolution spatiale (anglais : resampling)

**! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel :** (confer la section 8.5.2.2 page 164) :

- **Landsat-5:** à ne pas faire. Un rééchantillonnage de l'image Landsat-5 n'est pas nécessaire dans le cadre de cet exercice car les pixels ont une résolution spatiale de 30 mètres et l'image n'est pas trop lourde.
- **Sentinel-2 :** à ne pas faire car les images mises à disposition dans le dossier « ...\\DATA\\IMAGES\\SENTINEL\_2\\... » ont déjà été rééchantillonnées à 30 mètres (car sinon elles sont trop volumineuses). Elles ont été rééchantillonnées avec la méthode décrite dans cette section.

Le rééchantillonnage consiste notamment au **changement de la taille des pixels** d'un raster pour par exemple en diminuer la résolution spatiale ou pour harmoniser la taille des pixels des différentes bandes spectrales constituant un raster unique multi-bandes.

Dans le cadre de cet exercice, il s'est avéré que les images Sentinel-2 à 10m de résolution spatiale sont assez lourdes à traiter et que certains traitements, en particulier la classification, prennent beaucoup trop de temps à cette résolution spatiale.

Il a donc été décidé de rééchantillonner les images **Sentinel-2 à 30 m** de résolution spatiale (pour obtenir une taille de pixel similaire à celle de l'image Landsat-5).

La fonction de rééchantillonnage n'est pas directement disponible dans SCP. L'on pourra donc utiliser une fonction de rééchantillonnage du menu principale de QGIS.

Pour rééchantillonner toutes les bandes d'une image Sentinel-2 à 30 m dans QGIS (Figure 113):

- **Menu QGIS: Raster > Conversion > Convertir...**
- Cliquer sur le bouton « **Exécuter comme processus de lot...** » en bas de l'interface de la fonction afin de pouvoir appliquer en une seule fois le traitement sur toutes les bandes spectrales de l'image Sentinel-2 considérée
- Cliquer sur  « Basculer en mode avancé »
- Couche en entrée > ... Sélectionner des fichiers > Sélectionnez toutes les bandes spectrales sur lesquelles appliquer le rééchantillonnage
  - Bandes 2, 3, 4, 5, 8, 11 (2-3-4-8 à 10 m et 5-11 à 20 m) des images Sentinel-2 découpées spatialement
- Paramètres avancés > Paramètres additionnels de ligne de commande : indiquer « **\_ -tr 30 30** » (confer détails ici [https://gdal.org/programs/gdal\\_translate.html](https://gdal.org/programs/gdal_translate.html)), puis « Auto-remplissage... > Remplir » pour remplir toutes les lignes avec cette même information

- Converti > ... > Choisir le répertoire et donner un préfixe de nom, par exemple « 30m\_ » > Remplir avec les valeurs du paramètre > Couche en entrée : ceci aura pour effet de nommer les bandes rééchantillonnées avec le préfixe « 30 m\_ » suivi du nom de la bande en entrée.
- Vérification de la paramétrisation
- Décochez « Charger les couches »
- Exécutez (quelques secondes pour les 6 bandes Sentinel-2, 106 Mo)
- Ajoutez manuellement les bandes produites dans votre projet QGIS

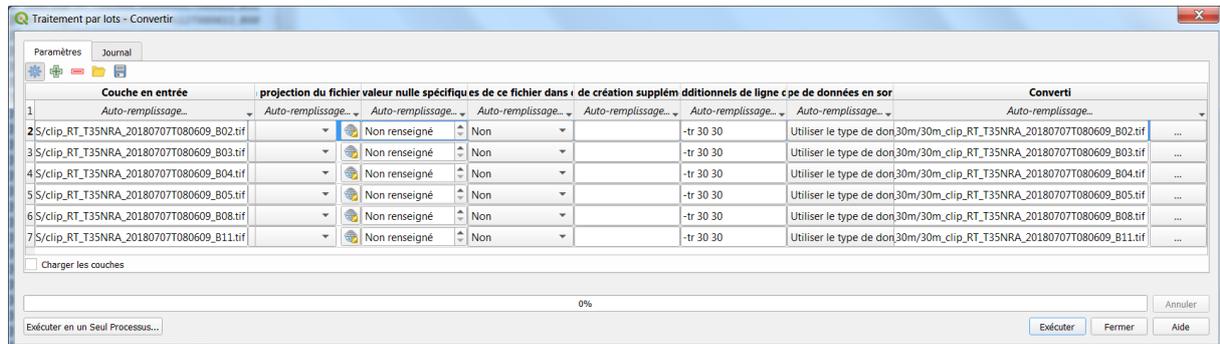


Figure 113 : Rééchantillonnage de 6 bandes d'une image Sentinel-2 à 30 mètres (-tr 30 30) via le traitement par lot de la fonction « Convertir... » de QGIS

## 8.6.7. Mosaïquage de 2 images voisines

Ce prétraitement ne sera pas utilisé dans le cadre de cet exercice. Il est mentionné à titre d'information.

Lorsque la zone d'étude est couverte par plusieurs images voisines, il peut être intéressant de les fusionner/mosaïquer afin d'obtenir une seule grande image couvrant toute la zone et plus facilement manipulable.

- **Fonction QGIS** : Raster > Divers > Fusionner... >

## 8.6.8. Mosaïquage de 2 images Sentinel-2 superposées pour réduire/supprimer la couverture nuageuse

**! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel :** (confer la section 8.5.2.2 page 164) :

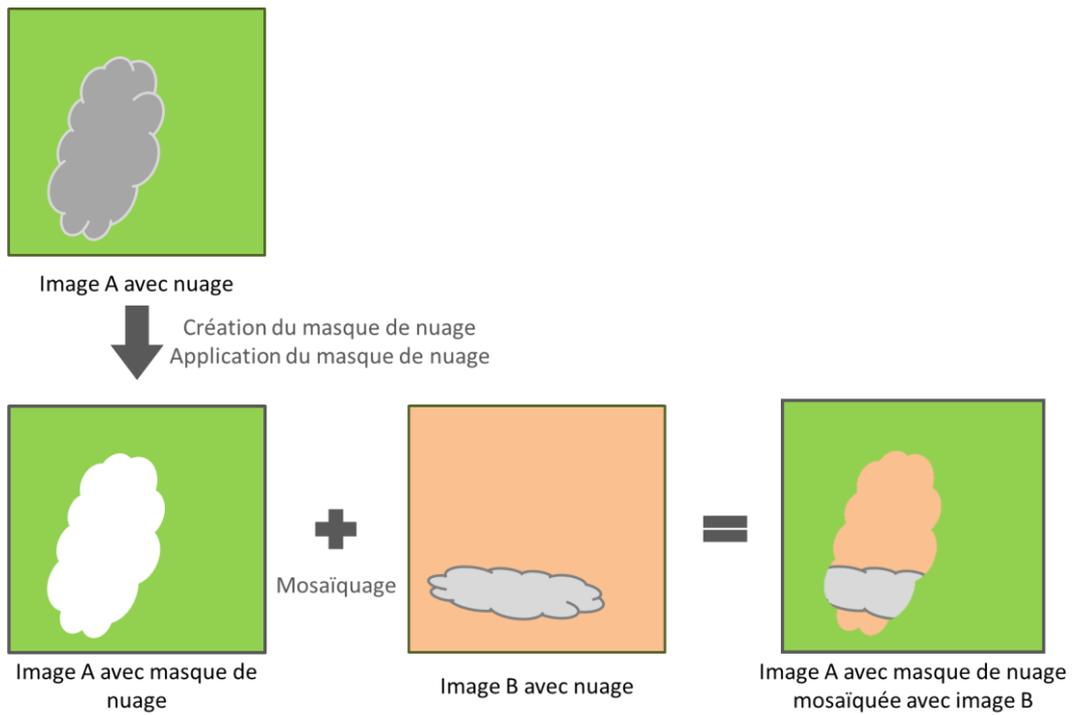
- **Landsat-5:** cette image n'est pas concernée par cette section
- **Sentinel-2 :** suivez les indications de cette section pour mosaïquer les 2 images Sentinel-2

### 8.6.8.1. Concept de reconstruction d'image dés-ennuagée

Face à la difficulté de trouver des images satellites présentant une couverture nuageuse suffisamment faible que pour permettre une analyse de qualité suffisante, il peut être judicieux de procéder à un mosaïquage de 2 ou plusieurs images, chacune partiellement ennuagée sur des zones différentes, et acquises dans un intervalle de temps relativement restreint (à moduler en fonction des objectifs de l'étude), afin de **reconstruire une image à partir des zones non-ennuagées de chacune des images.**

Dans le cas de cet exercice, les 2 images Sentinel-2 les moins ennuagées identifiées pour l'étude présentent tout de même une couverture nuageuse relativement importante et gênante pour l'analyse diachronique. Il convient dès lors de les mosaïquer afin de produire une image présentant une couverture nuageuse réduite.

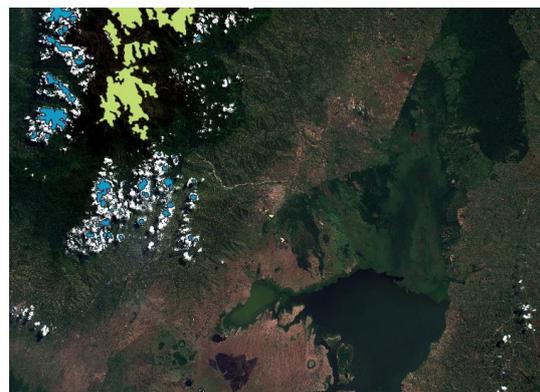
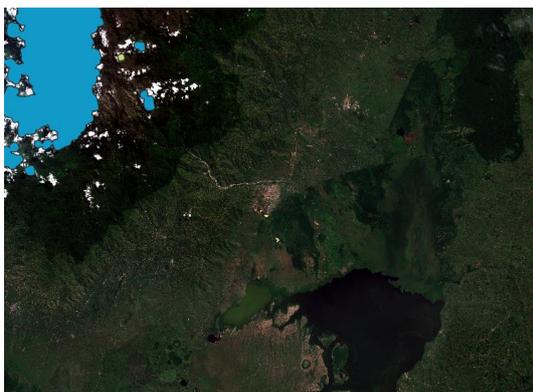
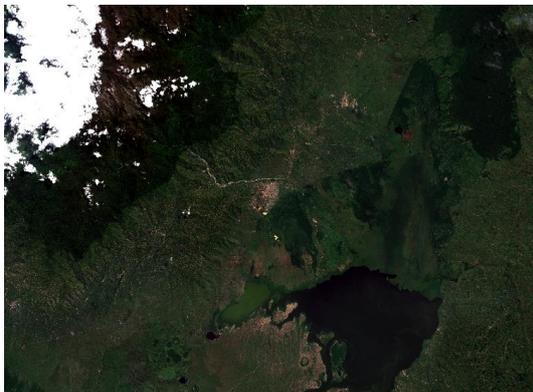
Le mosaïquage permet de remplacer les parties d'une image sur lesquelles un masque (de nuages par exemple) a été appliqué, par les pixels d'une autre image (idéalement, sans nuage aux endroits masqués) pour former une image avec une couverture nuageuse amoindrie (Figure 114).



**Figure 114 : Principe de mosaïquage d'une image masquée (image A) avec une autre image (image B)**

Dans ce cas-ci l'image du

- 20180612 sera l'image de base
- 20180707 sera utilisée pour remplacer les pixels masqués de l'image 20180612



**Figure 115 : Composition vraies couleurs des 2 images Sentinel-2 (au-dessus) avec affichage de la couche vectorielle de masque de nuages « MSK\_CLOUDS\_B00.gml » fournie avec les images avec les nuages denses (opaques) en bleu et les cirrus (voile léger) en vert (en-dessous).**

Il est clairement visible que ce désennuage ne sera pas total (partie nord-ouest de l'image). Il peut alors être utile d'utiliser des masques de nuages améliorés (confer plus loin)!

Ce type de mosaïquage à fin de désennuage est aussi documenté dans le « Basic tutorial 2 » officiel de SCP, disponible ici :

- <https://fromgistors.blogspot.com/p/user-manual.html?spref=scp>

### 8.6.8.2. Les grandes étapes du mosaïquage

- Téléchargement des images (déjà fait plus haut)
- Création d'un masque de nuages pour une image
- Application du masque de nuages sur l'image (ce qui remplace les valeurs de pixels ennuagés par « Nodata »)
- Mosaïquage de l'image masquée par la deuxième image

### 8.6.8.3. Création d'un masque de nuage

**! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel :** (confer la section 8.5.2.2 page 164) :

- **Landsat-5:** pas concernée par cette section
- **Sentinel-2 :** comme le fichier vectoriel de masque fourni avec l'image Sentinel-2 du 12 juin 2018 est très mauvais, utilisez le fichier de masque amélioré produit pour vous et disponible dans le répertoire « ...\DATA\IMAGES\SENTINEL\_2\SENTINEL\_2\_MASQUE\_NUAGES\_20180612.tif ». Les explications concernant la méthode de création de ce masque amélioré sont données ci-dessous pour information.

La création d'un masque de nuages peut se faire de différentes manières :

- Via l'utilisation d'une **couche d'information renseignant sur la présence de nuage** et accompagnant l'image satellite (méthode la plus simple, à privilégier si l'information est disponible et de bonne qualité)
- Via l'identification des nuages par **classification supervisée** : il peut être envisagé de réaliser une « pré-classification supervisée » rapide dont le seul objectif serait l'identification des zones ennuagées à masquer. La réflectance des nuages se distinguant généralement assez facilement de celles des classes d'occupation du sol, cette classification pourra probablement être rapide et précise.
- Réaliser un masque de nuage **manuellement** par édition d'une couche vectorielle de polygone par exemple. Ceci peut constituer une solution pratique si les zones ennuagées sont facilement numérisables (peu de nuages). Par contre cette solution

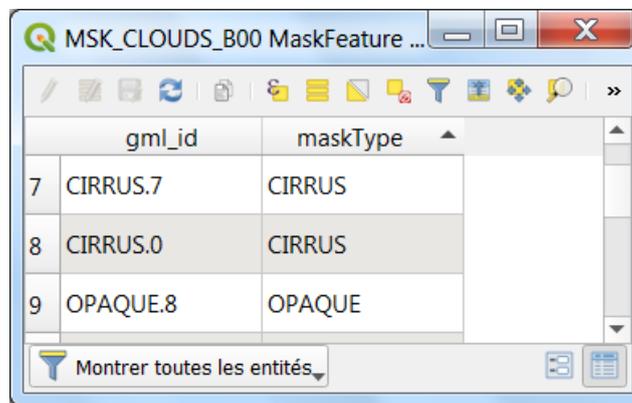
devra très vite fastidieuse avec l'augmentation du nombre et la complexité de la forme des nuages à masquer

- Une **combinaison** de ces techniques

#### 8.6.8.3.1. Création d'un masque de nuages à partir d'un fichier vectoriel de masque existant

Les images Sentinel-2 sont toujours accompagnées d'une bande d'information appelée « **MSK\_CLOUDS\_B00.gml** » qui est un fichier vectoriel identifiant très grossièrement les endroits ennuagés sur l'image (Figure 115). Ce fichier est décrit ici <https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-1c/cloud-masks>.

Nous pouvons y lire que le fichier vectoriel peut prendre 2 valeurs : dense (opaque) ou cirrus (léger voile) (Figure 115 et Figure 116), valeurs reprises dans la table d'attributs de la couche vectorielle.



	gml_id	maskType
7	CIRRUS.7	CIRRUS
8	CIRRUS.0	CIRRUS
9	OPAQUE.8	OPAQUE

**Figure 116 : Aperçu de la table d'attributs du fichier vectoriel de masque de nuage d'une image Sentinel-2 avec présence des 2 types de nuages : CIRRUS et OPAQUE**

Remarquez à la Figure 115 que pour l'image Sentinel-2 20180707 ce masque est particulièrement **imprécis** ! Cela constituerait une faiblesse/limitation de l'approche si ce masque était utilisé. Dans une situation réelle, il est indiqué d'identifier la couverture nuageuse de manière plus précise. **Dans le cadre de cet exercice le masque de nuages réellement utilisé sera celui créé selon la méthode de la section 8.6.8.3.2 page 210.** La suite de cette section-ci est donnée pour info.

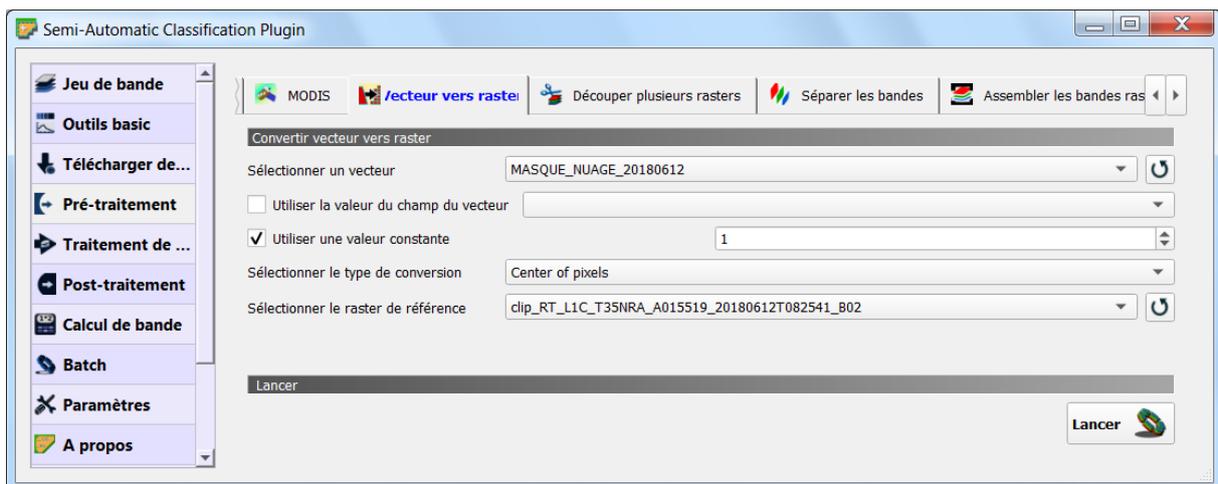
Pour créer un masque de nuages pour l'image 20180612 à partir de la couche vectorielle de masque fournie avec l'image:

- Chargez dans QGIS comme fichier vectoriel le fichier « **MSK\_CLOUDS\_B00.gml** » disponible dans le dossier de téléchargement de l'image Sentinel-2 (si téléchargement depuis le site web de référence). Ce fichier est disponible dans le sous-dossier (par exemple) « S2A\_MS~1\S2A\_MS~1.SAF\GRANULE\L1C\_T35NRA\_A015519\_20180612T082541\QI\_DATA\ ». Ce fichier identifie une partie seulement de la couverture nuageuse de

l'image. Remarquez que sur la zone d'étude, il n'y a que des nuages « opaques/denses » et pas de « cirrus ».

- L'exporter au format shapefile : clic-droit sur le fichier « MSK\_CLOUDS\_B00 MaskFeature » dans le panneau Couches de QGIS > Exporter > Sauvegarder les entités sous... > Choisir le format shapefile, le répertoire de sortie et le nommer par exemple « **MASQUE\_NUAGE\_20180612.shp** » et l'ajouter dans le projet QGIS.
- Menu SCP > Pré-traitement > **Vecteur vers raster**
  - (attention éviter répertoire long/ avec espace)
  - Sélectionner un vecteur: cliquez sur  pour rafraîchir la liste de couches disponibles et sélectionnez le masque créé à l'étape précédente « MASQUE\_NUAGE\_20180612.shp »
  - **Cochez « Utilisez une valeur constante » et indiquez « 1 »** pour que le raster de masque produit prenne une **valeur de 1 pour les nuages**
  - Sélectionnez le raster de référence : cliquez sur , puis sélectionnez une bande de l'image Sentinel-2 découpée spatialement correspondant au masque utilisé, par exemple « clip\_RT\_L1C\_T35NRA\_A015519\_20180612T082541\_B02.tif » pour créer un raster de la même taille et aligné sur le raster Sentinel-2.
  - Lancez via , sélectionnez un répertoire et nommez le raster de masque, par exemple « MASQUE\_NUAGE\_20180612.tif » (~10 secondes)

Le raster de masque de nuages est produit et prend une **valeur de « 1 » pour les nuages et « NoData » pour les autres zones** (consultable via l'outil  de QGIS).



### 8.6.8.3.2. Création d'un masque de nuages par classification des nuages dans l'image à masquer

#### Méthode par classification supervisée

Un masque de nuage peut être réalisé par **classification** des nuages présents sur l'image à masquer.

**Cette étape de classification est décrite à la section 8.8.8 page 258** vu qu'il s'agit essentiellement d'un processus de classification puis raffinement de la classification.

Dans le cadre du TP, vous utiliserez simplement la couche de masque résultant de cette étape qui a déjà été faite pour vous et qui est disponible dans le répertoire « ... \DATA\IMAGES\SENTINEL\_2\SENTINEL\_2\_MASQUE\_NUAGES\_20180612.tif ».

#### Méthode par seuillage

Une **méthode de seuil** aurait également pu être utilisée. Elle consiste à simplement reclassifier les pixels d'une bande en-dessous/au-dessus d'une valeur seuil vers une constante. Dans ce cas-ci, on pourrait par exemple reclassifier la bande bleu, celle qui présente le plus de contraste entre sol et nuages, en identifiant la meilleure valeur seuil permettant de faire cette distinction entre sol et nuage. Ceci peut se faire facilement via la calculatrice raster :

- Explications disponibles [ici](https://docs.qgis.org/3.4/en/docs/user_manual/working_with_raster/raster_analyses.html#raster-calculator)  
[https://docs.qgis.org/3.4/en/docs/user\\_manual/working\\_with\\_raster/raster\\_analyses.html#raster-calculator](https://docs.qgis.org/3.4/en/docs/user_manual/working_with_raster/raster_analyses.html#raster-calculator)
- Exemple de formule : ( "B02@1" <= 0.18 ) \* "B02@1"
  - où 0.18 est la valeur seuil.
  - Si B2 <= 0.18 (ce qui correspond au sol), alors B2 conserve ses valeurs de pixel
  - Si B2 > 0.18 (ce qui correspond aux nuages), alors B2 prend une valeur de 0
- Mais lors de tests, QGIS crash lorsque l'on travaille sur une taille de raster originale (30 m de résolution spatiale) avec x ligne et x colonnes. Cela fonctionne avec un nombre de cellules de raster en sortie de 500\*500 (pas avec 1000\*1000).

#### 8.6.8.4. Appliquer le masque de nuages sur une image

**! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel :** (confer la section 8.5.2.2 page 164):

- Landsat-5: pas concernée par cette section
- Sentinel-2 : image 20180612 seulement

Pour appliquer un masque de nuages, existant sous la forme d'un raster uni-bande dont la/les valeurs de pixels correspondant aux zones à masquer sont clairement définies, sur toutes les bandes de l'image 20180612 présentes dans le Jeu de bandes de cette image:

- Menu SCP > Jeu de bandes
  - Assurez-vous d'avoir un « Jeu de bandes » qui correspond à l'image sur laquelle appliquer le masque, sinon créez-le. Dans ce cas-ci un « Jeu de bandes » comprenant les 6 bandes de l'image Sentinel-2 20180612 découpées spatialement et rééchantillonnées à 30 m.
- Menu SCP > Prétraitement > Masque nuage
  - Jeu de bandes : mettre le numéro du Jeu de bandes sur lequel appliquer le masque (Jeu de l'image 20180612 découpée spatialement)
  - Sélectionner la classification : cliquez sur , puis sélectionnez le raster de masque créé à la section précédente « MASQUE\_NUAGE\_20180612.tif »
  - Valeurs de classe du masque : « 1 »
  - Utiliser un buffer en taille de pixel : décochez pour accélérer le traitement
  - Cliquez sur  et choisissez le répertoire (~1 minute)
- Visualisez le résultat dans QGIS : les endroits masqués prennent une valeur de « NoData » (transparent dans QGIS)

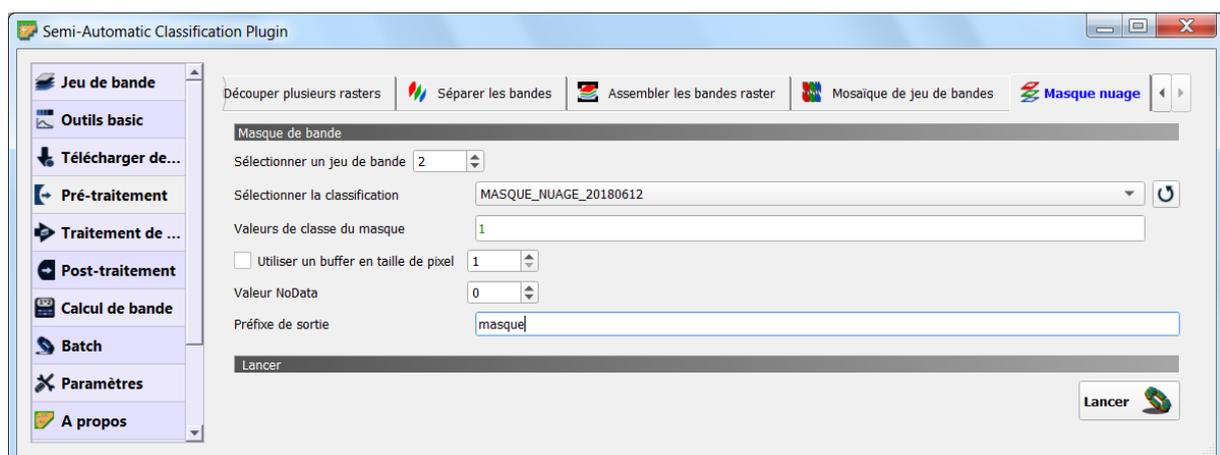


Figure 117 : Application d'un masque de nuages sur une image dans SCP. Remarque : le nom du fichier correspondant à ce masque et fourni dans le dossier de cet exercice est en fait « SENTINEL\_2\_MASQUE\_NUAGES\_20180612.tif » (différent de ce qui est indiqué dans cette figure). (Ancienne interface de SCP)

### 8.6.8.5. Mosaïquer l'image masquée et la deuxième image

Pour remplacer les pixels « NoData » de l'image 20180612 masquée par les pixels de l'image 20180707 :

- Menu SCP > Jeu de bandes > Ajouter un nouveau Jeu de bandes via le bouton  > Y ajouter les bandes masquées « masque\_clip\_RT\_... 20180612...»
- Menu SCP > Jeu de bandes > Assurez-vous d'avoir un Jeu de bandes qui correspond à l'image qui sera utilisée pour remplacer les pixels masqués de l'image 20180612, soit un jeu de bandes pour l'image 20180707 découpée spatialement, sinon créez-le
- Menu SCP > Prétraitement > Mosaïque de Jeu de bandes
  - Entrez le numéro du Jeu de bandes contenant les bandes masquées 20180612, suivi d'une virgule, suivi par le numéro du Jeu de bandes contenant les bandes de remplacement (20180707)
  - Préfixe « mosaïque » (possibilité d'utiliser plusieurs rasters).
  - Cliquez sur  et sélectionner le répertoire de sortie (~1 minute)

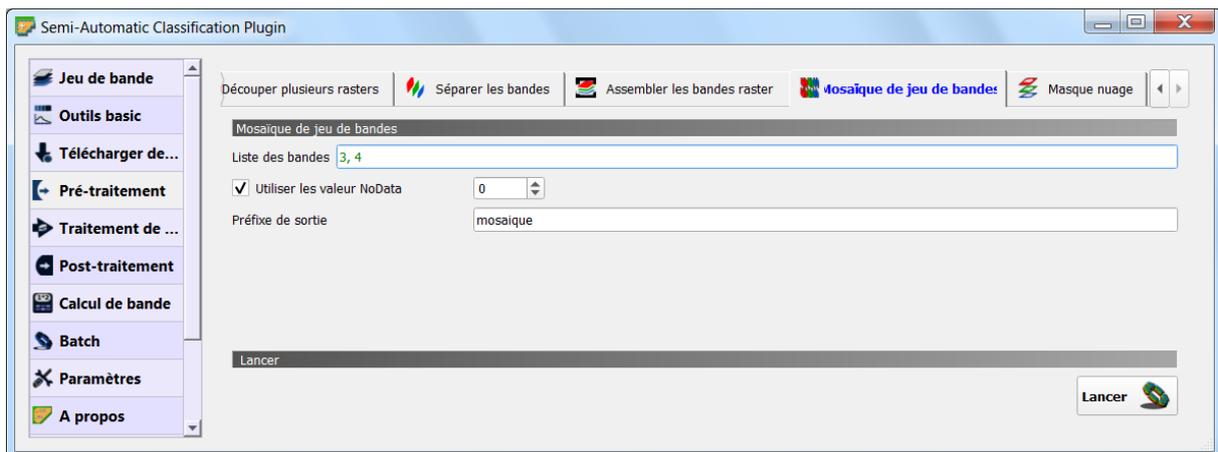


Figure 118 : Fonction de mosaïquage de l'outil SCP (ancienne interface de SCP)

Les bandes sont ajoutées automatiquement au projet QGIS.

Visualisez une composition colorée du résultat :

- Créez un nouveau « Jeu de bandes » correspondant à l'image mosaïquée
- Créez un « Virtual band set »

Et comparez l'image mosaïquée avec les images initiales (Figure 119).



Image Sentinel-2 20180612



Image Sentinel-2 20180707



Image Sentinel-2 20180612 après application du **masque de nuages vectoriel fourni avec l'image** et remplacement des pixels de ce masque par les pixels de l'image Sentinel-2 20180707 via la technique du **mosaïquage**



Image Sentinel-2 20180612 après application du **masque de nuages amélioré** (masque obtenu par classification des nuages et raffinement) et remplacement des pixels de ce masque par les pixels de l'image Sentinel-2 20180707 via la technique du **mosaïquage**

**Figure 119 : Comparaison des 2 images Sentinel-2 initiales avec les images résultant du mosaïquage. Les images mosaïquées présentent une couverture nuageuse amoindrie.**

L'image résultant du mosaïquage reste partiellement ennuagée, et ceci pour 2 raisons :

- Certaines parties de l'image sont ennuagées dans les 2 images initiales

- Le masque de nuage créé à partir du masque vectoriel fourni avec l'image 20180612 ne masque pas tous les nuages, ce qui a pour conséquence qu'une partie d'entre eux se retrouvent dans l'image résultant du mosaïquage (C).
- **Ceci constitue une grosse limitation de la méthode car ces pixels ne seront pas masqués et produiront un biais dans la matrice de transition !**

### 8.6.9. Création de néocanaux (indices de végétation, ACP, etc)

Cette opération ne sera pas utilisée dans le cadre de cet exercice. Elle est mentionnée à titre d'information.

En fonction des objectifs de la classification et de la difficulté de classer correctement les classes d'occupation du sol d'intérêt sur base des bandes spectrales simples d'une image satellite, il peut s'avérer utile de calculer des **néocanaux**.

Un **néocanal** est une nouvelle couche d'information (une nouvelle bande raster) calculée à partir des bandes spectrales disponibles dans une image et qui permet, idéalement, de faire ressortir certaines informations non directement ou moins facilement accessibles à partir des bandes spectrales de base.

Ces néocanaux peuvent être par exemple :

- Des **indices de végétations** (par exemple, le NDVI, calculables avec la calculatrice raster de QGIS)
- Les **indices de « Tasseled Cap »**
- Les **premières composantes d'une Analyse en Composante Principale (ACP)**
- ...

#### 8.6.9.1. Calcul de divers indices

Cette opération ne sera pas utilisée dans le cadre de cet exercice. Elle est mentionnée à titre d'information.

Menu SCP > Calcul de bandes

Menu QGIS Raster > Raster Calculator

#### 8.6.9.2. Analyse en Composantes Principales (ACP)

Cette opération ne sera pas utilisée dans le cadre de cet exercice. Elle est mentionnée à titre d'information.

Menu SCP > Traitement de bande > ACP

### 8.6.10. Géoréférencement

Cette opération ne sera pas utilisée dans le cadre de cet exercice, car pas nécessaire. Elle est mentionnée à titre d'information.

Le géoréférencement est l'opération qui permet de positionner correctement une image dans l'espace et de lui attribuer un système de coordonnées géographiques.

Lors d'une analyse diachronique consistant en la comparaison, pixel par pixel, des changements d'occupation du sol s'étant produit entre 2 images acquises à 2 dates différentes, il est évidemment très important que les images à comparer soient parfaitement **géoréférencées l'une par rapport à l'autre**, c'est-à-dire que les pixels de l'image initiale superposant les pixels de l'image finale correspondent à une même zone, pixel par pixel.

Il est nécessaire de **vérifier si le géoréférencement relatif des 2 images est suffisant ou pas**. Ceci peut simplement se faire via **analyse visuelle** dans QGIS via :

- Zoom in important (observation à grande échelle) afin de contrôler avec précision la position relative des images
- Cocher/décocher les images pour alterner leur visibilité
- L'extension « Map Swipe Tool »

Il se peut que le géoréférencement initial des images téléchargées soit suffisant que pour réaliser correctement une analyse diachronique.

Si le géoréférencement relatif des images n'est pas suffisant, il faudra procéder au géoréférencement des images. Différentes techniques existent, principalement :

- Géoréférencement avec **points de calage** (en anglais : Ground Control Point (GCP))
- Géoréférencement « **image-to-image** » : géoréférencement d'une image relativement à une autre.

La plupart du temps la précision de localisation spatiale des images LANDSAT ou Sentinel-2 est suffisante par défaut et ne requière pas de géoréférencement. Mais mieux vaut toujours vérifier !

#### 8.6.10.1. Géoréférencement par point de calage ou GCP

Cette technique ne sera pas expliquée dans ce manuel mais le lecteur intéressé pourra se référer aux:

- Manuel de travaux pratiques sous QGIS disponible ici <https://orbi.uliege.be/handle/2268/190559>
- Tutoriel QGIS en ligne disponible ici :

- [https://docs.qgis.org/3.4/fr/docs/training\\_manual/forestry/map\\_georeferencing.html?highlight=g%C3%A9or%C3%A9f%C3%A9rencement](https://docs.qgis.org/3.4/fr/docs/training_manual/forestry/map_georeferencing.html?highlight=g%C3%A9or%C3%A9f%C3%A9rencement)

### 8.6.10.2. Géoréférencement de type « image à image »

Non documenté dans ce manuel.

### 8.6.11. Masque de nuages multi-dates, applicable à chacune des 2 images de l'analyse diachronique, Landsat-5 et Sentinel-2 mosaïquée

**! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel :** (confer la section 8.5.2.2 page 164) :

- **Landsat-5:** réalisation d'un masque de nuage à partir de la bande BQA
- **Sentinel-2 :** réalisation d'un masque par produit des masques améliorés individuels
- **Landsat-5 et Sentinel-2 :** fusion/addition des masques relatif à chaque image et application du masque fusionné/somme sur Landsat-5 et Sentinel-2 mosaïquée

#### 8.6.11.1. Principe de création d'un masque de nuages multi-dates

Il est parfois intéressant/nécessaire de masquer une partie des images à analyser qui autrement gêneraient l'analyse, typiquement lorsque :

- des **nuages**, et parfois leurs ombres projetées au sol, sont présents sur l'image
- une **partie de l'image ne doit pas être analysée** (par exemple : à l'extérieur des limites d'un parc naturel pour lequel une analyse spécifique au parc est souhaitée)

Lors d'une analyse diachronique de l'évolution de l'occupation du sol, afin que les 2 images classifiées restent comparables, **un même masque devra être appliqué sur les 2 images**. Ce masque correspondra donc à la **somme des masques créés pour chacune des deux images**. Les **étapes à suivre** seront donc :

- **Création** du masque relatif à chacune des 2 images
- **Fusion** des 2 masques par addition des masques
- **Application** du masque fusionné (ou « masque somme ») à chacune des images

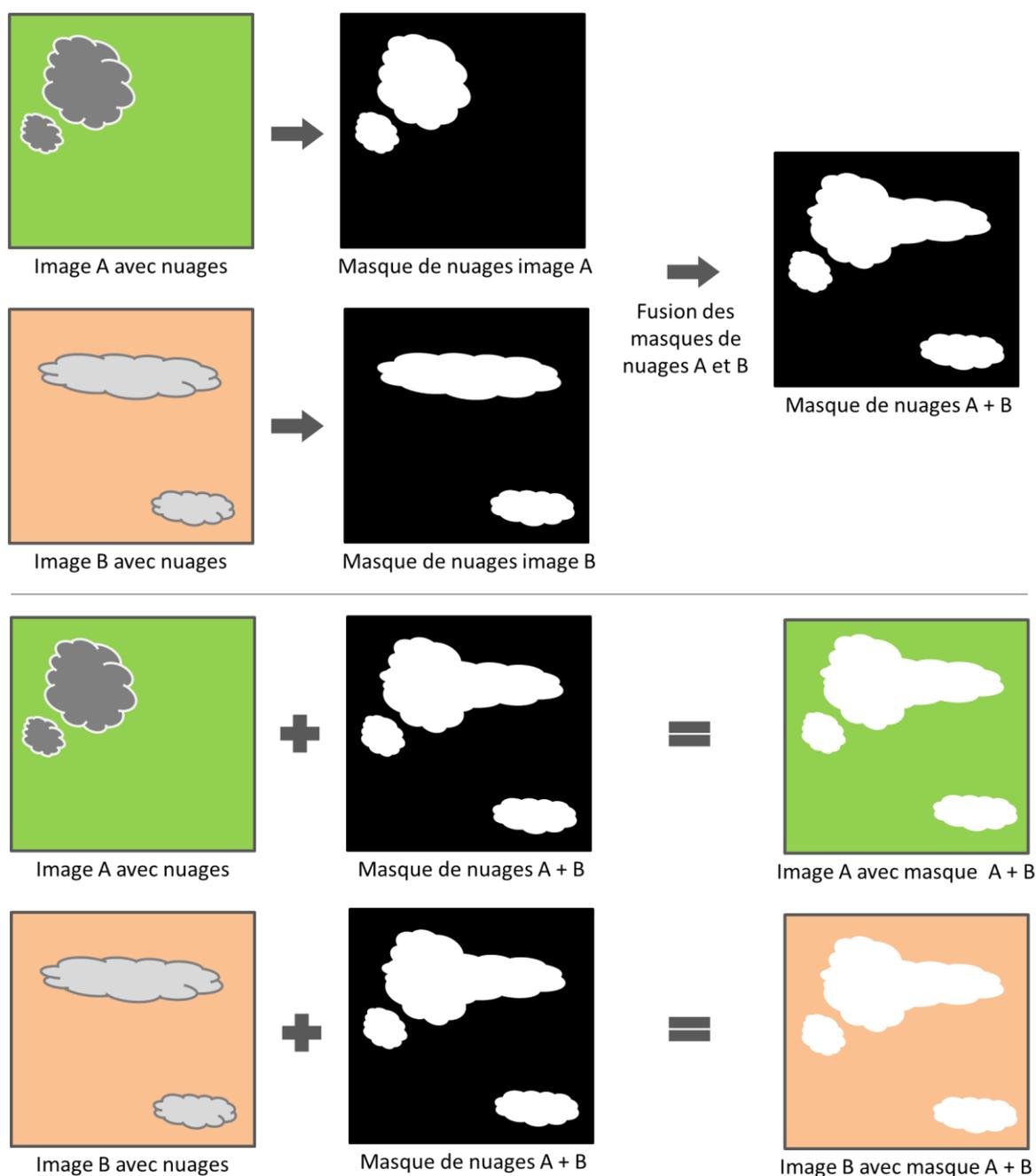


Figure 120 : Principe de la création d'un masque de nuages multi-dates

### 8.6.11.2. Création d'un masque de nuages pour l'image Landsat-5

L'image Landsat-5 est accompagnée d'une bande raster « BQA » (Band QUALITY) renseignant sur la qualité de chaque pixel. Plus d'information sont disponibles ici par exemple :

- [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-collection-1-level-1-quality-assessment-band?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-collection-1-level-1-quality-assessment-band?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)

“The Collection 1 Level-1 QA band can be stretched to emphasize the light and dark pixels for an immediate survey of a scene's general quality conditions.”

- Visualisez le raster avec une symbologie « Palette/valeurs uniques » et un dégradé de couleurs

Section “Landsat 4-5 TM, Landsat 7 ETM+ Level-1 Possible Attributes, Pixel Values, and Pixel Value Interpretations”, 2ème table:

Landsat 4-5 TM, Landsat 7 ETM+ Collection 1 Level-1 Quality Assessment Band Pixel Value Interpretations								
Pixel Value	Snow/Ice Confidence	Cloud Shadow Confidence	Cloud Confidence	Cloud	Radiometric Saturation	Dropped Pixel	Fill	Pixel Description
0	NDet	NDet	NDet	NDet	NDet	NDet	NDet	Not Determined (NDet)
1	NDet	NDet	NDet	NDet	NDet	NDet	Yes	Fill
2	NDet	NDet	NDet	NDet	NDet	Yes	No	Dropped pixel

On peut notamment résumer très grossièrement une partie de l’information contenue dans cette table comme ceci:

- [704-764] = cloud
- [928-972] = cloud shadow
- [1696-1740] = snow

Valeur <=	Couleur	Étiquette
684		<= 684
764		684 - 764
972		764 - 972
1740		972 - 1740

Symbologie raster “Pseudo-couleur

à bande unique”

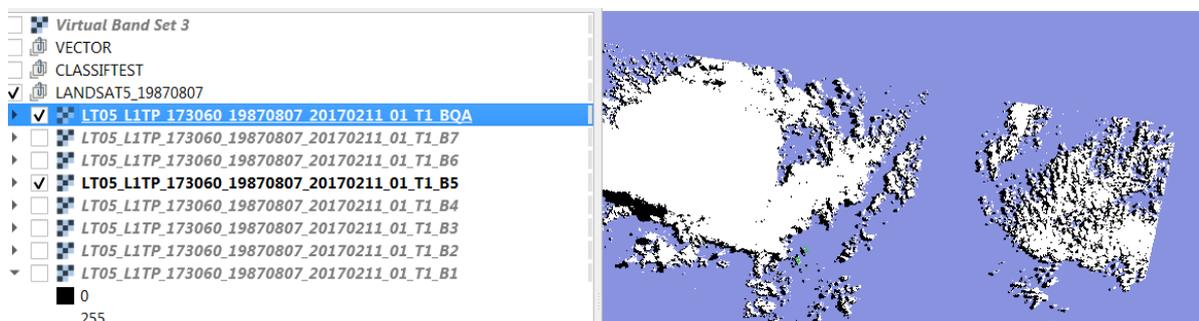


Figure 121 : Visualisation dans QGIS de la bande BQA de l’image Landsat-5 renseignant sur la couverture nuageuse

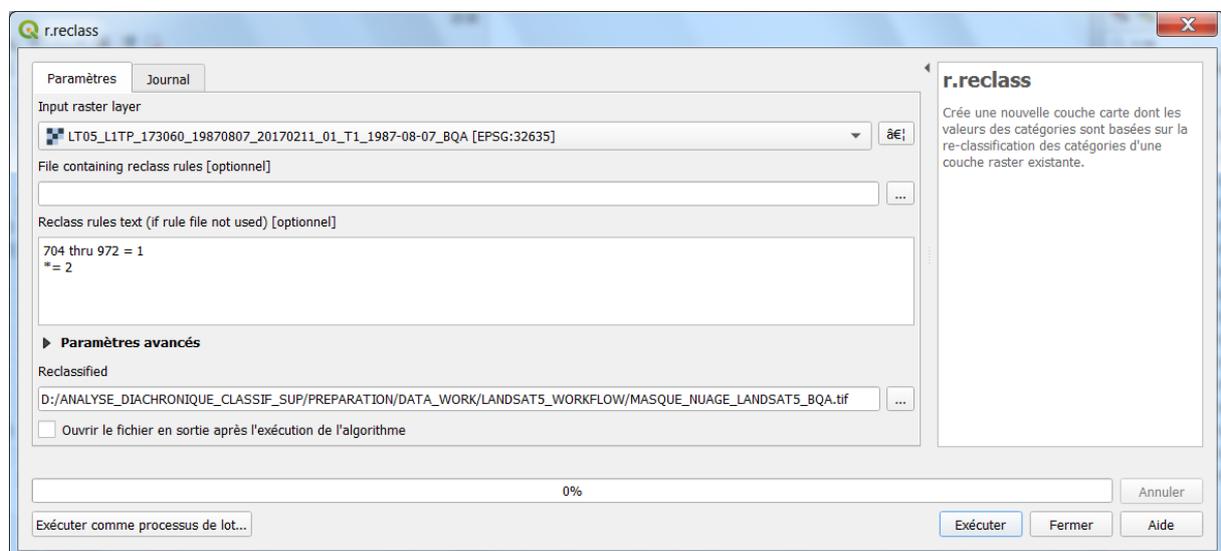
Une analyse attentive devrait être opérée afin de déterminer les pixels à conserver / à ne pas conserver.

Dans ce cas-ci nous allons considérer que les pixels de la bande BQA ayant une valeur entre [704 - 972] sont impactés par les nuages et sont donc à masquer.

Pour **créer le masque de nuage** correspondant, il suffit de **reclassifier les valeurs du raster** avec:

- Utilisez la fonction « r.reclass » qui dépend de GRASS et disponible dans Traitement > Boite à outils ». Attention ! Il faut activer l'extension « GRASS GIS provider » pour que cette fonction soit disponible.
  - Documentation ici <https://grass.osgeo.org/grass70/manuals/r.reclass.html>
- Paramétrage comme à la Figure 122.
- Règles de reclassification à indiquer :
  - 704 thru 972 = 1
  - \*= 2
- Nommez le masque raster reclassifié « MASQUE\_NUAGE\_LANDSAT5\_BQA.tif » par exemple

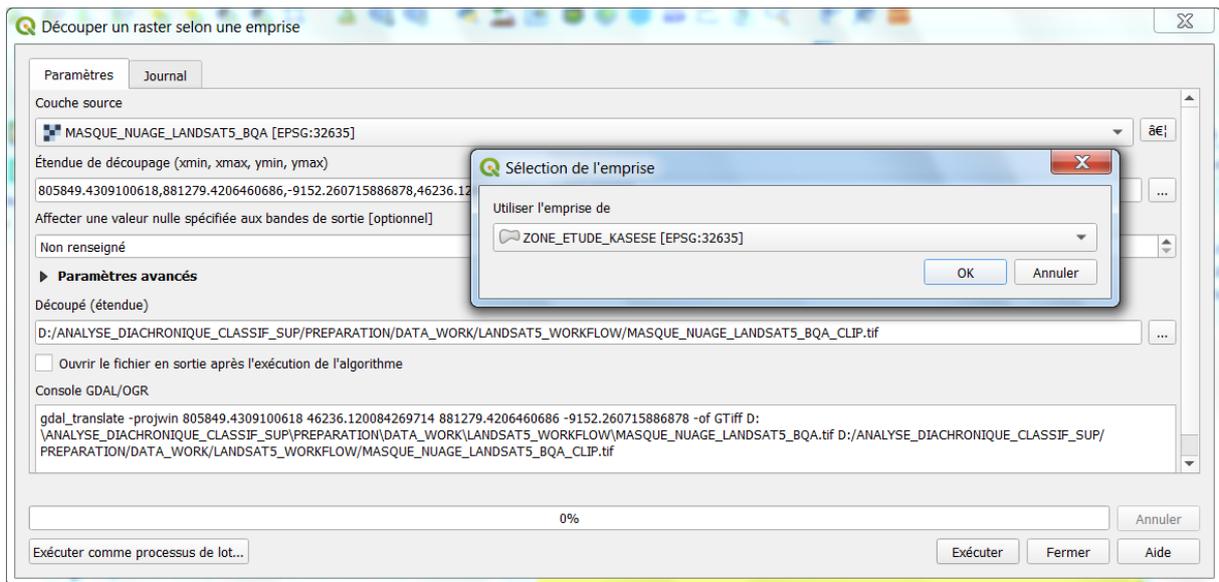
Le masque prend une valeur **de 1 pour les nuages et 2 ailleurs**.



**Figure 122 : Fonction r.reclass de GRASS dans QGIS pour créer le masque de nuages de l'image Landsat-5 à partir de son fichier BQA**

Pour obtenir un masque sur la zone d'étude uniquement, le découper spatialement :

- Raster > Extraction > Découper un raster selon une emprise...  
ZONE\_ETUDE\_KASESE.shp
- Raster en sortie : « MASQUE\_NUAGE\_LANDSAT5\_BQA\_CLIP.tif »



### 8.6.11.3. Création d'un masque de nuages pour l'image Sentinel-2 mosaïquée

Le masque de nuage à considérer pour l'image Sentinel-2 mosaïquée correspond à l'intersection des masques de nuages améliorés des 2 images mosaïquées (20180612 et 20180707) eux-mêmes créés selon la méthode présentée à la section 8.8.8 page 258.

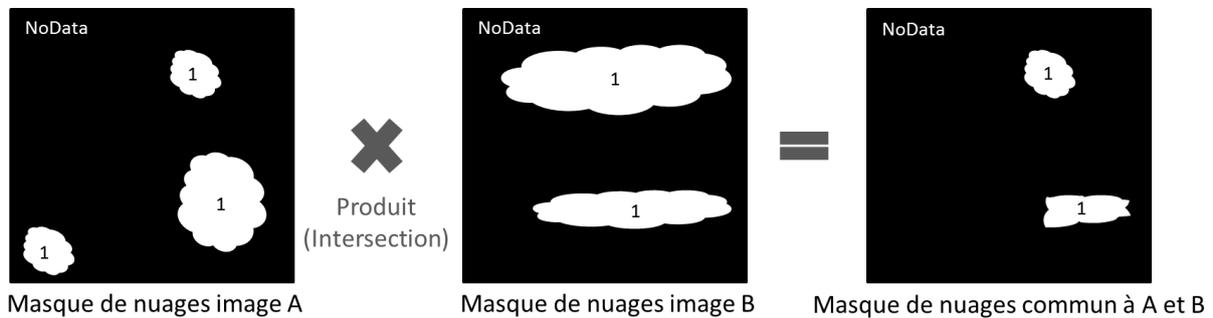
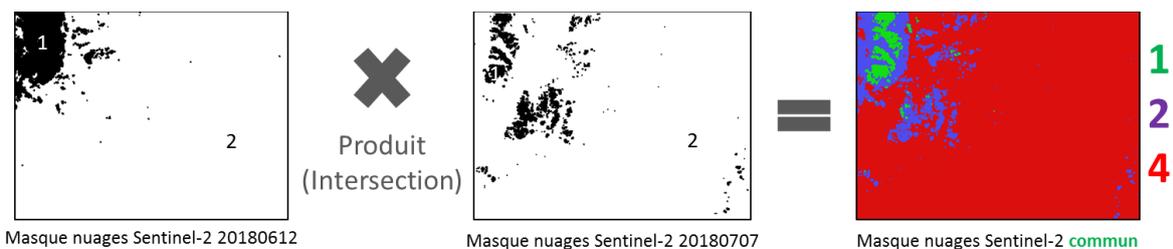


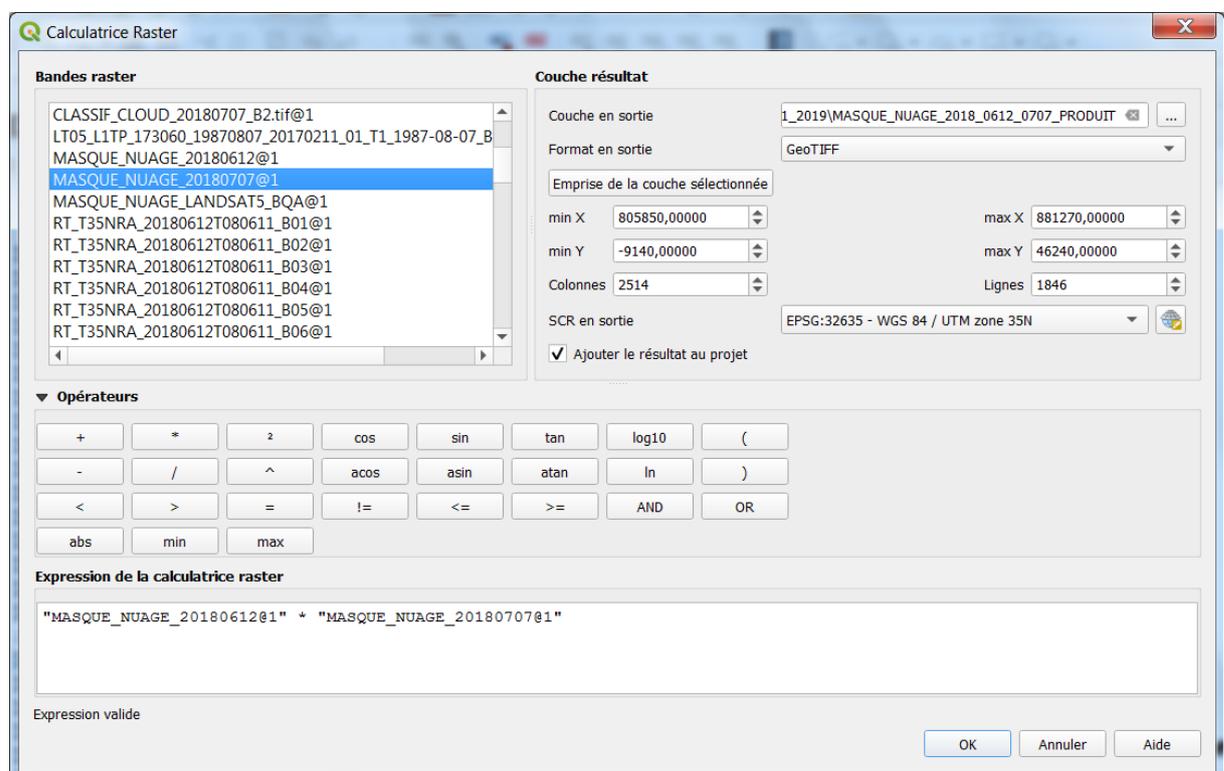
Figure 123 : Principe de construction d'un masque de nuages commun à 2 masques de nuages (noir = NoData, blanc = valeur de 1)



Pour obtenir ce masque de nuages correspondant à l'image mosaïquée :

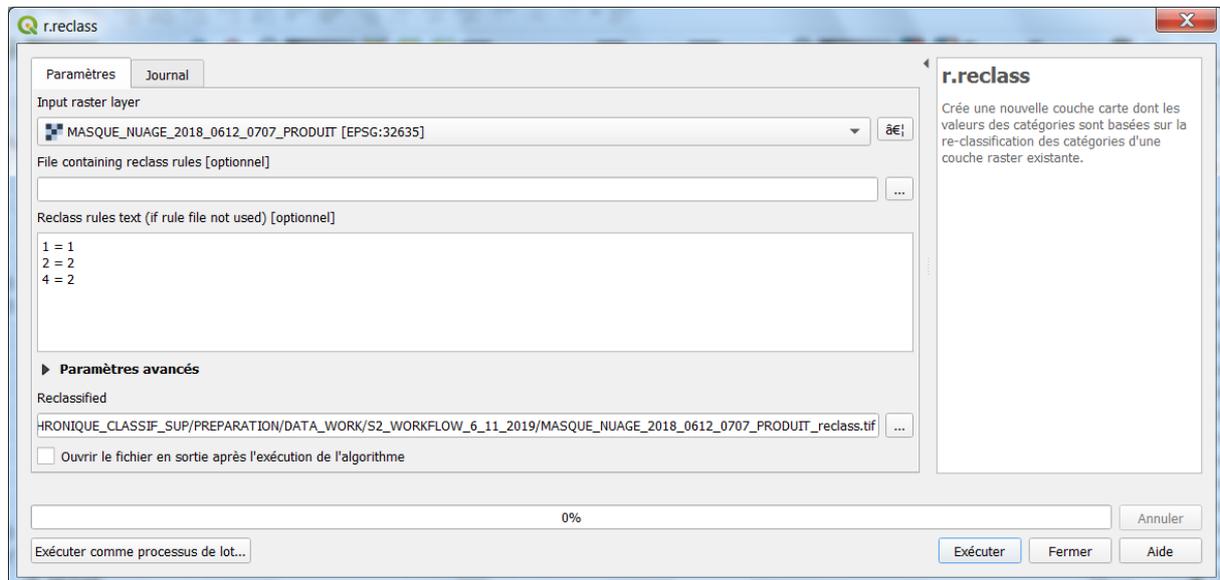
- Ouvrir dans QGIS les 2 rasters correspondant aux masques de nuages améliorés des 2 images Sentinel-2, dont les valeurs de pixels sont de 1 pour les nuages et 2 ailleurs. Ces 2 masques ont déjà été produits pour vous et sont disponibles dans le répertoire « ... \ DATA \ IMAGES \ SENTINEL\_2 \ » sous les noms de :
  - **SENTINEL\_2\_MASQUE\_NUAGES\_20180612.tif** (repris sous le nom « MASQUE\_NUAGE\_20180612.tif » dans l'illustration ci-dessous)
  - **SENTINEL\_2\_MASQUE\_NUAGES\_20180707.tif** (repris sous le nom « MASQUE\_NUAGE\_20180707.tif » dans l'illustration ci-dessous)
- Utiliser la calculatrice raster de QGIS pour faire le produit des 2 masques :
  - Raster > Raster Calculator... >
- Appelez le raster résultant « **MASQUE\_NUAGE\_2018\_0612\_0707\_PRODUIIT.tif** » par exemple
- Les 4 valeurs possibles sont :
  - **1 \* 1 = 1 → Nuage \* Nuage = Nuage commun aux 2 images**
  - **1 \* 2 = 2 → Nuage \* Autre = Autre**
  - **2 \* 1 = 2 → Autre \* Nuage = Autre**
  - **2 \* 2 = 4 → Autre \* Autre = Autre**

Le raster résultant prendra donc une valeur de 1 dans ce cas-ci pour les nuages commun aux 2 images Sentinel-2, et 2 ou 4 dans les autres situations.



**Figure 124 : Produit des 2 masques de nuages améliorés des 2 images Sentinel-2, dans la calculatrice raster de QGIS, pour produire le masque de nuages commun aux 2 images Sentinel-2 (remarque : le nom des masques dans cette illustration ne correspond pas aux noms des masques mis à disposition dans le dossier de cet exercice comme indiqué plus haut)**

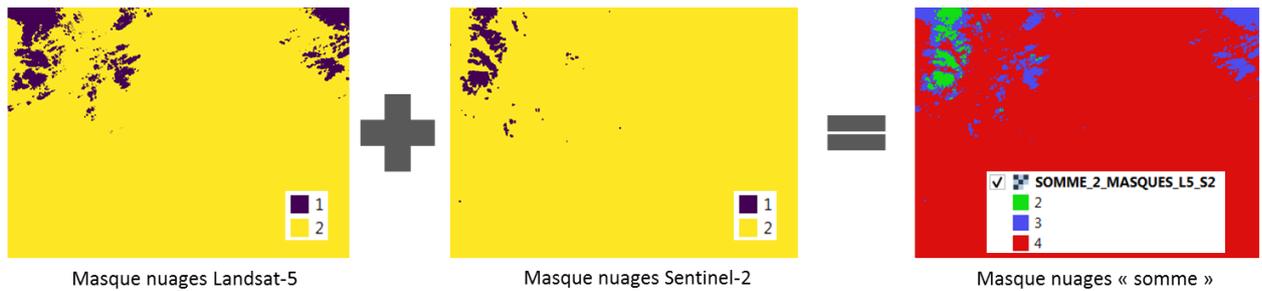
- Pour faciliter la suite des opérations, ce raster peut être reclassifié selon les règles reprises dans la figure ci-dessous afin de garder une valeur de **1 pour les nuages communs aux 2 images et une valeur de 2 ailleurs**
  - Traitement > Boîte à outils > r.reclass (dépend de GRASS)
  - Raster en sortie = « MASQUE\_NUAGE\_2018\_0612\_0707\_PRODUIIT\_reclass.tif »



**Figure 125 : Utilisation de la fonction GRASS « r.reclass » pour reclassifier le raster de masque de nuages commun aux 2 images Sentinel-2**

#### **8.6.11.4. Création du « masque fusionné » ou « masque somme » de nuages applicable aux images Landsat-5 et Sentinel-2**

- Réaliser une somme des 2 masques (valeurs : 1 = nuage ; 2 = autre) produits aux sections précédente via la calculatrice raster de QGIS (Raster > Raster Calculator...)
  - « MASQUE\_NUAGE\_2018\_0612\_0707\_PRODUIIT\_reclass.tif »
  - « MASQUE\_NUAGE\_LANDSAT5\_BQA\_CLIP.tif »
- Le raster résultant prend les valeurs suivantes :
  - **2 : nuages communs aux 2 images**
  - **3 : nuages sur une seule des 2 images**
  - 4 : absence de nuage sur les 2 images
- Nom du raster résultant :
  - « MASQUE\_NUAGE\_SOMME\_2\_L5\_S2.tif »



### 8.6.11.5. Application du « masque fusionné » ou « masque somme » à chacune des 2 images

Le « masque somme » doit ensuite être appliqué sur chacune des 2 images à considérer pour l'analyse diachronique, pour les rendre comparables, soit les images :

- Landsat-5 : clip\_RT\_LT05\_L1TP\_173060\_19870807\_20170211\_01\_T1\_1987-08-07\_...
- Sentinel-2 : mosaïque\_masque\_30m\_clip\_RT\_T35NRA\_20180612T080611\_...
- Menu SCP > Jeu de bandes
  - Assurez-vous d'avoir un Jeu de bandes qui correspond à chacune des 2 images sur lesquelles appliquer le « masque somme », sinon créez-les
- Menu SCP > Prétraitement > Masque nuage
  - Jeu de bandes : mettre le numéro du Jeu de bandes sur lequel appliquer le masque
  - Sélectionner la classification: sélectionner le « MASQUE\_NUAGE\_SOMME\_2\_L5\_S2.tif »
  - Valeurs de classe du masque: Attention ! Mettre 2,3 (confer section précédente)
  - Décochez buffer
  - Préfixe : masque\_som
  - Cliquez sur , sélectionnez le répertoire

Les images masquées avec le masque somme prennent une valeur de NoData aux endroits masqués.

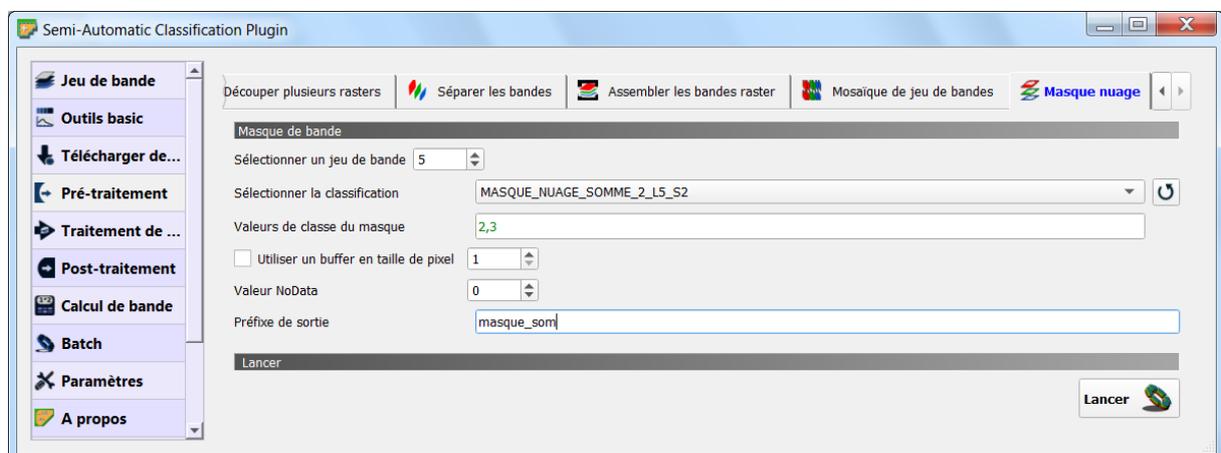


Figure 126 : Application du « masque somme » sur un jeu de bandes (ancienne interface de SCP)



Landsat-5 avec masque somme



Sentinel-2 mosaïquée avec masque somme

## 8.7. Observation des images et identification des classes d'occupation du sol

### 8.7.1. De l'importance de l'observation des images

Il est très important de prendre le temps d'analyser visuellement une image avant de se lancer dans le processus de classification en tant que tel et ceci afin de bien comprendre l'information que l'image contient et de répondre notamment aux questions suivantes:

- Quelles sont les différentes classes d'occupation du sol présentes ?
- Sont-elles visuellement différentes les unes des autres ?
- Y a-t-il des nuages sur l'image ?
- Certains pixels correspondent-ils à des codes spécifiques ayant une signification particulière (NoData,...) ?

Les sections suivantes discutent de ces aspects et présentent diverses méthodes facilitant l'analyse visuelle de l'image.

### 8.7.2. Identification des classes d'occupation du sol

Lors de l'identification des classes d'occupation du sol, il faut **identifier** et **faire la distinction entre** (exemple dans les Figure 127 et Figure 128) :

- **Les classes objectifs ou MACRO-CLASSES** : ce sont les classes d'intérêt que vous désirez analyser et/ou faire apparaître dans la représentation cartographique finale et qui seront donc reprises dans la **légende de la carte d'occupation du sol** produite. Ces macro-classes peuvent englober plusieurs sous-classes spectrales qui correspondent à des signatures spectrales différentes. Ce sont ces macro-classes qui feront l'objet de la **validation** par matrice de confusion et qui seront étudiées dans la **matrice de transition**.
- **Les sous-classes ou CLASSES SPECTRALES** : ce sont les classes d'occupation du sol qui présentent des signatures spectrales « différentes ». Ce sont les classes spectrales qui seront utilisées pour le processus de classification par les algorithmes de classification se basant sur la valeur des pixels. Il s'agit donc de définir autant de classes spectrales qu'il existe de classes d'occupation du sol présentant des signatures spectrales bien différentes. Ces « sous-classes spectrales » pourront être fusionnées en « macro-classes » après la classification pour une meilleure représentation cartographique (confer ci-dessous la section 8.10 page 265).

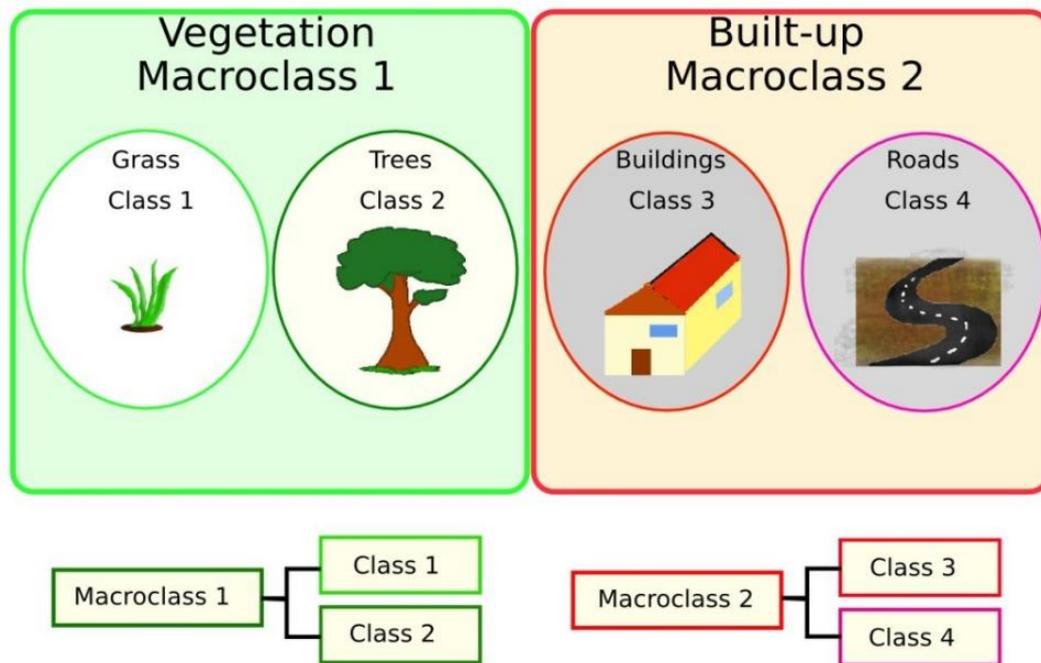


Figure 127 : Notions de « macro-classe » et « classes spectrale ». Source : [https://semiautomaticclassificationmanual.readthedocs.io/en/latest/remote\\_sensing.html#classes-definition](https://semiautomaticclassificationmanual.readthedocs.io/en/latest/remote_sensing.html#classes-definition)

Macro-classes ou Classes objectifs ou Classe de la légende de la carte finale	Sous-classes ou classes spectrales composant les macro-classes et utilisée par l’algorithme de classification supervisée
Forêt	Forêt de feuillu (ex : vert clair) Forêt de résineux (ex : vert foncé)
Zones agricoles	Parcelles agricoles présentant un sol nu (ex : brun) Parcelles agricoles présentant une culture x (ex : colza en fleur, jaune) Parcelles agricoles présentant une culture y (ex : prairie, vert) ...
Zones construites	Routes (ex : gris) Toits d’ardoise (ex : noir) Toits de tuiles (ex : rouge)
...	...

Figure 128 : Exemple simplifié de relation entre les classes d’occupation du sol représentées sur une carte et les classes spectrales correspondantes ayant été utilisées lors du processus de classification supervisée

Lors d’une **analyse diachronique**, les **classes d’occupation** du sol rencontrées dans les différentes images à comparer (images acquises à différentes dates), **peuvent différer en partie** (voire totalement dans une situation extrême). Par exemple, la 1<sup>ère</sup> image pourrait présenter une zone forestière unique qui aurait été transformée totalement en zone agricole et bâti dans la 2<sup>ème</sup> image.

Lors de l'identification/sélection des classes spectrales à analyser, veillez à ne pas être trop ambitieux et à **ne pas surestimer la capacité de classification/distinction** précise des différentes classes d'occupation du sol par la méthode de classification que vous allez utiliser... et donc à **ne pas vouloir distinguer l'indistinguable** ! Une classification d'image a ses limites, qui sont parfois (souvent) bien vite atteintes... Il vous faudra donc trouver le juste **compromis** entre le **nombre de classes** à identifier et la **précision de classification** atteignable pour chacune de ces classes.

En outre, si, pour une raison ou l'autre, vous ne pouvez pas attribuer avec certitude une classe d'occupation du sol à certains pixels, cela constituera une **limitation** à la méthodologie de classification. Une classification de qualité est parfois impossible et il faut l'accepter!

Un **exemple de difficultés** de classification qui pourraient être rencontrés est la difficulté/impossibilité de discerner différents types de végétation (forêt jeune vs forêt adulte, culture de maïs ou de pomme de terre, etc) car ils présenteraient des signatures spectrales trop similaires.

En particulier, lors de cette étape d'identification des classes d'occupation du sol, en plus d'identifier les « macro-classes » et les « classes spectrales », veillez à créer des classes spectrales pour :

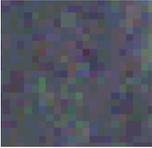
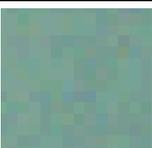
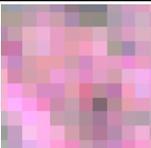
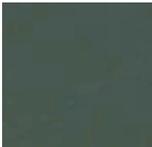
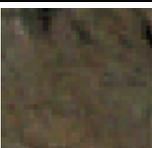
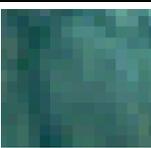
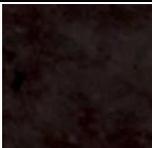
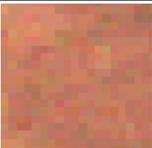
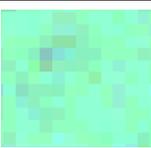
- Les **nuages**, si ceux-ci ne sont pas masqués
- Les pixels sans valeurs « **No data** » et/ou pixels de « **background** » qui sont parfois caractérisés par une valeur « code » spécifique (exemple : -9999, 255, etc)
- Les **pixels non photo-interprétables** : il peut être indiqué dans certains cas de créer une/des classes spectrales «inconnu\_1 », « inconnu\_2 », etc, pour autant qu'elles correspondent à une signature spectrale particulière.

**Dans le cas de cet exercice, les figures ci-dessous reprennent les macro-classes et sous-classes spectrales proposées pour chacune des 2 types d'images (Landsat-5 et Sentinel-2).** Notez que par soucis de concision, de simplicité et de rapidité ce nombre de classes a été volontairement réduit.

### 8.7.3. Présentation de la description des classes d'occupation du sol

Remarquez que lors de la présentation d'une méthodologie de classification supervisée, dans un rapport scientifique, un mémoire de fin d'étude, etc, il est bienvenu, voire nécessaire, de **définir le plus précisément possible chacune des classes d'occupation du sol utilisée** (macro-classes et sous-classes spectrales), par souci de clarté et transparence méthodologique.

Cette description des classes utilisée peut se faire via un tableau comme celui repris à la Figure 129 (bien que les définitions soient ici assez sommaires). Remarquez cependant que les couleurs des différentes classes apparaissant à l'écran peuvent fortement changer en fonction de l'amélioration de contraste appliquée. Idéalement, il faudrait donc renseigner les paramètres de l'amélioration de contraste utilisée, ce qui ne sera pas fait ici.

Macro-classe	Sous-classe spectrale	Définition de la classe en composition vraies couleurs	Aspect typique de la classe en composition vraies couleurs Rouge-Vert-Bleu de l'image Landsat-5	Aspect typique de la classe en composition fausses couleurs Proche infrarouge-Rouge-Vert de l'image Landsat-5	Aspect typique de la classe en composition vraies couleurs d'une image très haute résolution (Google Earth Pro par exemple)
Forêt dense	Forêt dense	Forêt dense, vert foncé			
Forêt peu dense	Forêt peu dense	Forêt peu dense, vert intermédiaire			
Couvert végétal faible	Couvert végétal faible	Couvert végétal faible, vert clair			
Eau	Eau bleue	Eau bleue			
	Eau verte	Eau verte			
Roche	Roche	Roche, présente en montagne			
Sol nu	Sol nu beige	Sol nu beige			
	Sol nu brûlé mauve clair	Sol nu brûlé mauve clair			/

	Sol nu brûlé mauve foncé	Sol nu brûlé mauve foncé			
Ville	Ville et bâti	Ville et bâti			

**Figure 129 : Exemple de description des « macro-classes » et « classes spectrales » des classes d'occupation du sol pouvant être utilisées lors de la classification supervisée de l'image Landsat-5 utilisée dans le cadre de cet exercice.**

Une autre manière de présenter les classes d'occupation du sol étudiée, peut-être plus représentative et informative, est de présenter quelques extraits/morceaux de l'image satellite à classifier, en composition vraies couleurs, à grande échelle (zoom in) et annotée de numéros renvoyant à une légende identifiant les classes (Figure 130).

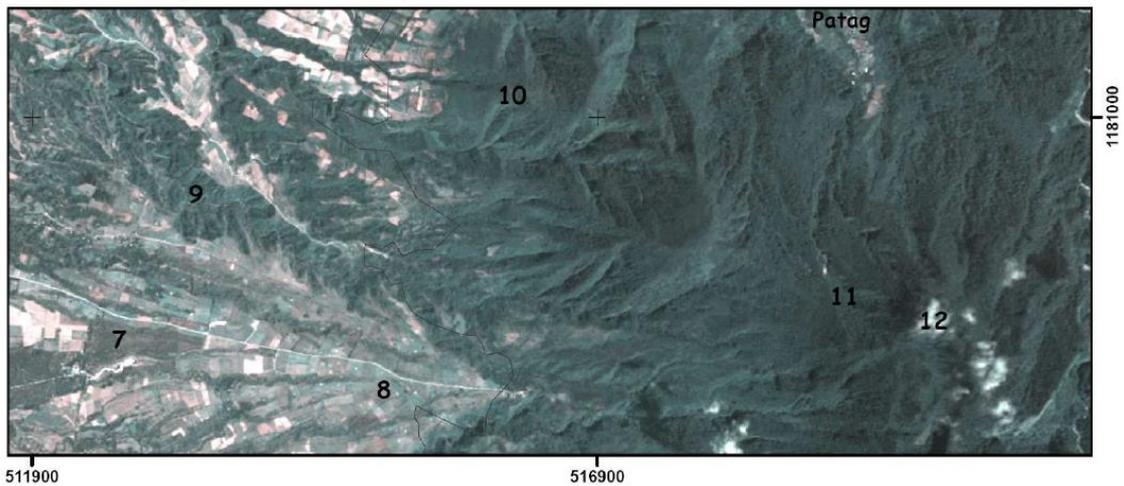
## SPOT5 Image of North Negros

### Visual interpretation of the land cover of 2 selected sites

Lowland : detail of the North Negros Coast near Victorias



Upland : entry in NNNP near Campuestohan



#### Legend

Lowland	Upland
1. Agricultural land	7. Cultivated tree land
2. Built up	8. Open area
3. Fishpond	9. Riverain forest
4. Mangrove	10. Forest from 600 m to 1100 m
5. River	11. Mountain forest
6. Sea	12. Cloud

1:50.000

~ NNNP boundary



#### Sources :

- SPOT5 image (XS 1-2-3-4) - 10 m ground resolution  
 RGB = 233 (27 February 2003)  
 - Field survey (March - May 2006)

Projection UTM Zone 51N  
 Datum : WGS 1984  
 Coordinates in meters



Author : Antoine DENIS  
 UCL-Geomatic - August 2006  
 CUD2 project (BALAYAN - ESSC -  
 FUNDP - FUSAGX - UCL)

Figure 5 : Visual interpretation of the land cover of 2 selected sites in the SPOT 5 image

Figure 130 : Exemple de présentation des macro-classes d'occupation du sol utilisées lors d'une classification supervisée d'une partie de l'île de Negros aux philippines. Source : <https://orbi.uliege.be/handle/2268/33068>, page 61.

## 8.7.4. Observation des images en 2D

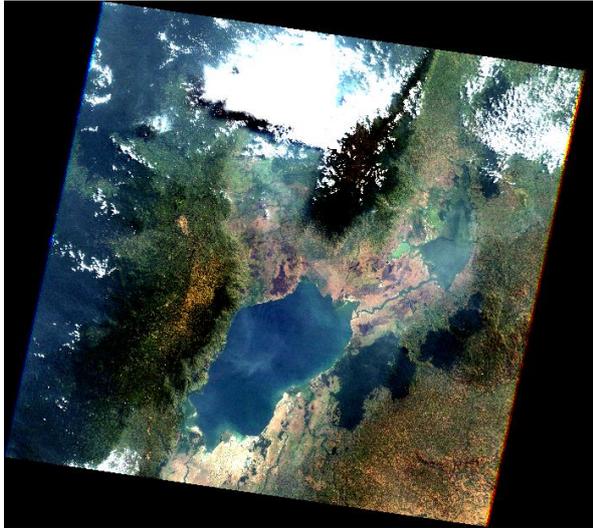
Voici ci-dessous une liste non exhaustive de techniques de visualisation d'image permettant d'en améliorer l'analyse visuelle.

### 8.7.4.1. Visualiser l'image en composition vraies et fausses couleurs

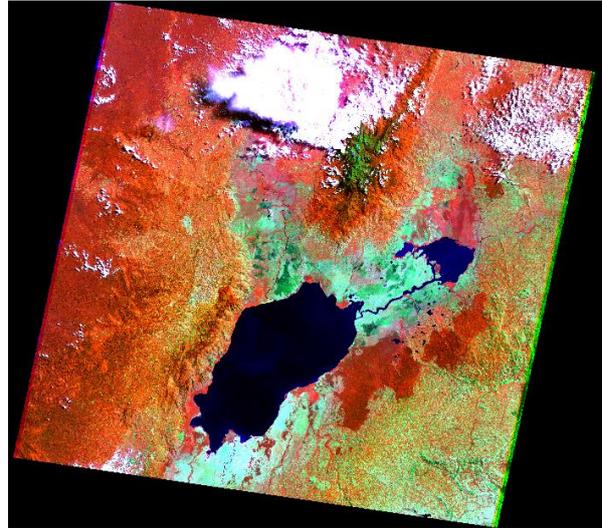
Les notions de composition « vraies couleurs » et composition « fausses couleurs » ont déjà été présentée à la section « 4.8.1 Composition « vraies couleurs » et composition « fausses couleurs » » page 48 et suivantes.

La méthode de création et d'affichage d'une composition vraies ou fausses couleurs via le plugin SCP dans QGIS a déjà été présentée à la section 8.6.2 page 195, et en particulier à la section « 8.6.2.2 Affichage d'une composition colorée des images satellites » page 197.

- Visualiser l'image en « **composition vraies couleurs** » ou « **couleurs naturelles** » (Figure 131-gauche) lorsque cela est possible, c'est-à-dire lorsque les 3 bandes spectrales correspondant aux longueurs d'onde du Rouge, du Vert et de Bleu (RGB, Red Green Blue) sont disponibles. Ce type de composition permet d'établir facilement, intuitivement, une correspondance entre les couleurs apparaissant sur l'image et les couleurs des classes d'occupations du sol telles qu'elles nous apparaissent dans le monde réel. Ce type de composition facilitera la reconnaissance des classes d'occupation du sol en particulier pour une personne qui ne serait pas habituée à l'interprétation de diverses compositions fausses couleurs.
- Visualiser l'image en « **composition fausses couleurs** » (Figure 131-droite), c'est-à-dire dans une composition colorée différente de la composition vraies couleurs. Les bandes spectrales en dehors du spectre du visible, essentiellement dans l'infrarouge, permettent parfois de distinguer d'avantages de classes spectrales que les seules bandes du visible en apportant des informations spectrales supplémentaires. Par exemple, la Figure 132 montre qu'une composition fausses couleurs utilisant de l'infrarouge peut faciliter la distinction entre 2 types de forêt (feuillue vs résineuse) qui en composition vraies couleurs sont assez similaires (sur base d'une méthode de visualisation par défaut sans amélioration de contraste).



Vraies couleurs RGB = B3-B2-B1



Fausses couleurs RGB = B4-B7-B3

**Figure 131 : Image Landsat-5 TM en composition « vraies couleurs » (à gauche) et en composition « fausses couleurs » (un exemple parmi les nombreuses possibles) (à droite), toutes deux avec amélioration de contraste.**



**Figure 132 : Exemple de visualisation d'une zone forestière présentant 2 types de forêts, forêt feuillue au Nord-Ouest, et forêt résineuse (conifères) au Sud-Est, pendant la saison de végétation, en composition vraies couleurs (gauche) et fausses couleurs (Infrarouge-Rouge-Vert) (droite). Source : Image sentinel-2 d'une région au Sud de la ville de Namur en Belgique en juillet 2019 affichée dans le viewer « TERRASCOPE » <https://viewer.terrascope.be/terrascope/>.**

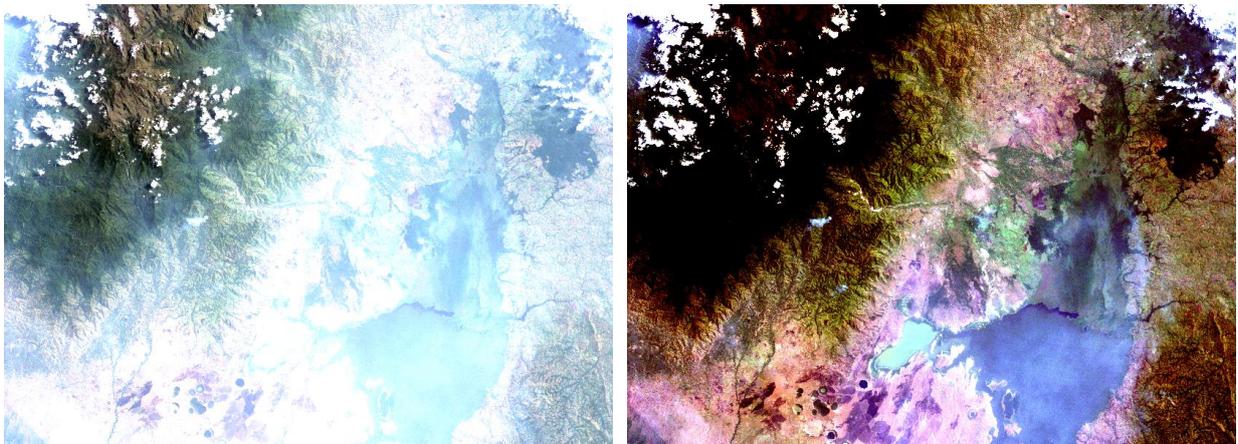
### 8.7.4.2. Amélioration de contraste

L'amélioration de contraste consiste en une transformation virtuelle des données afin d'utiliser toute la gamme d'intensité de couleur disponible pour visualiser les données à l'écran. Cette amélioration ne modifie donc pas vos données sources (la valeur des pixels). Elle ne fait qu'attribuer différemment la palette de couleurs disponibles à votre image afin de faire ressortir certains éléments plus clairement.

La **notion d'amélioration de contraste** a déjà été présentée en détails à la section 4.8.2.1 page 51 et à la Figure 18 page 51.

L'exemple de la Figure 133 montre l'utilité d'améliorations de contraste calculées à partir de différentes zones de l'image :

- **l'image de gauche** permet la distinction claire de différentes classes d'occupation du sol dans la zone montagneuse du Nord-Ouest (classes de forêt et de roche) mais est assez « surexposée » ailleurs.
- **l'image de droite** permet la distinction claire de différentes classes d'occupation du sol dans la zone de plaine du centre (végétation, sol nu, eau) mais est très « sous-exposée » dans la partie Nord-Ouest en montagne.



**Figure 133 : Comparaison de 2 améliorations de contraste de l'image Landsat-5 en « composition vraies couleurs Rouge-Vert-Bleu » sur la zone d'étude et focalisant l'amélioration sur la zone montagneuse du Nord-Ouest (image de gauche) ou sur la zone de plaine du centre (image de droite).**

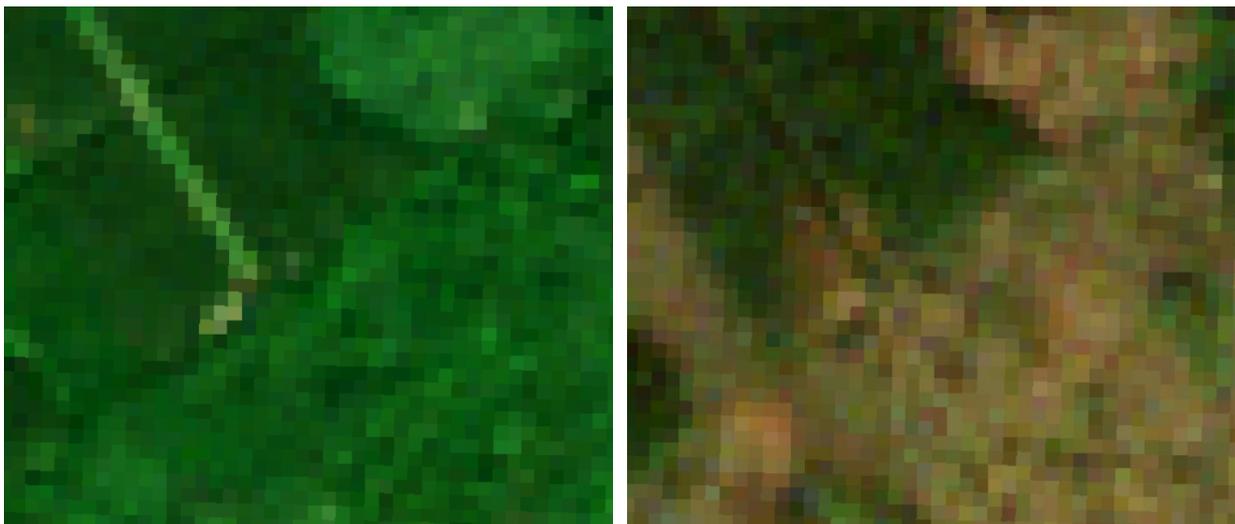
### 8.7.5. Observation multi-temporelle

L'analyse de la dynamique/variation saisonnière (ou simplement temporelle) des classes d'occupation du sol à l'aide de plusieurs images acquises à différentes période de l'année (ou à différents moments) peut également aider à l'identification précise de certaines classes d'occupation du sol, comme illustré à la Figure 134 qui montre :

- une **variation importante de la réflectance** pour une forêt décidue (à feuilles caduques) entre l'été (forêt verte) et l'hiver (forêt brune)
- une **constance de la réflectance** pour une forêt à feuilles persistantes, verte en été et en hiver

Remarque : certaines techniques de classification de l'occupation du sol se basent spécifiquement sur le comportement spectro-temporel de ces classes pour mieux les identifier (utilisation de plusieurs images acquises à différents moments de l'année).

Ce type d'observation et d'analyse ne seront pas réalisés dans le cadre de ce manuel.



Eté, forêt à feuilles persistantes verte et forêt  
décidue verte

Hiver, forêt à feuilles persistantes verte et forêt  
décidue brune

**Figure 134 : Exemple de visualisation en composition vraies couleurs d'une zone forestière présentant 2 types de forêts, forêt feuillue décidue (feuilles caduques) au Nord-Ouest, et forêt résineuse à feuilles persistantes (conifères) au Sud-Est, pendant la saison de végétation en été (à gauche) et en hiver (à droite). Source : Images sentinel-2 d'une région au Sud de la ville de Namur en Belgique affichées dans le viewer « TERRASCOPE » <https://viewer.terrascope.be/terrascope/>.**

## 8.7.6. Observation des images en 3D via une représentation du relief naturel

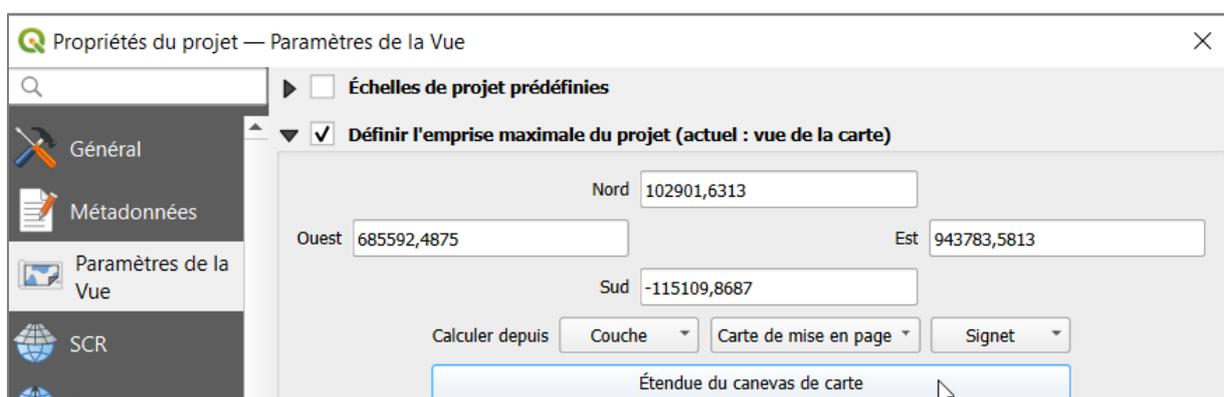
Une représentation 3D du relief naturel du paysage à classer (Figure 136) peut aider l'opérateur à mieux comprendre l'organisation de ce paysage et par là l'aider dans sa tâche de photo-interprétation ayant pour but final l'identification des différentes classes d'occupation du sol.

Pour visualiser une couche d'information sous la forme d'une représentation 3D du relief naturel, il est nécessaire d'avoir à disposition une couche d'information correspondant à ce relief naturel, souvent appelée Modèle Numérique de Terrain (MNT) (en anglais : Digital Elevation Model (DEM)).

Dans le cadre de cet exercice le MNT utilisé est celui présenté à la section 8.4.2.1 page 149 ci-dessus.

QGIS propose **2 outils pour la visualisation 3D** :

- **Menu : Vue > Vue 3D > Nouvelle Vue Cartographique 3D** (Figure 135)
  - Lors de son ouverture, cet outil **bug** parfois en affichant le message suivant : « *L'étendue du projet n'est pas valable. Veuillez ajouter ou activer une couche à rendre.* ». Dans ce cas, allez dans le menu principal de QGIS « Projet > Propriétés... > Paramètres de la vue > et cochez le menu comme dans l'image ci-dessous (« Définir l'emprise... ») + cliquez sur le bouton « Etendue du canevas de carte » + cliquez sur « Appliquer ». Ensuite, retournez dans le menu « Nouvelle Vue Cartographique 3D » et poursuivre la procédure ci-dessous.



- Ensuite, dans le menu : Vue > Vue 3D > **Nouvelle Vue Cartographique 3D**
  - Option > Configurer > Terrain >
    - Type : choisir « DEM (Raster layer) » (MNT)
    - Elevation : choisir un MNT de la zone, dans ce cas-ci, comme indiqué dans la figure ci-dessous

- Echelle verticale : facteur multiplicateur de l'altitude pour faire ressortir le relief
  - Améliorer la résolution éventuellement.
  - OK
- Faire pivoter la vue dans le plan horizontal grâce à la flèche bleue 
  - Agrandir/élargir éventuellement la fenêtre de la vue 3D vers la gauche et vers le bas pour mieux visualiser la vue 3D (qui parfois n'est pas visible du tout par défaut).
  - S'assurer que l'image à visualiser en 3D soit l'image visible (cochée) la plus supérieure dans le panneau « Couches » de QGIS.

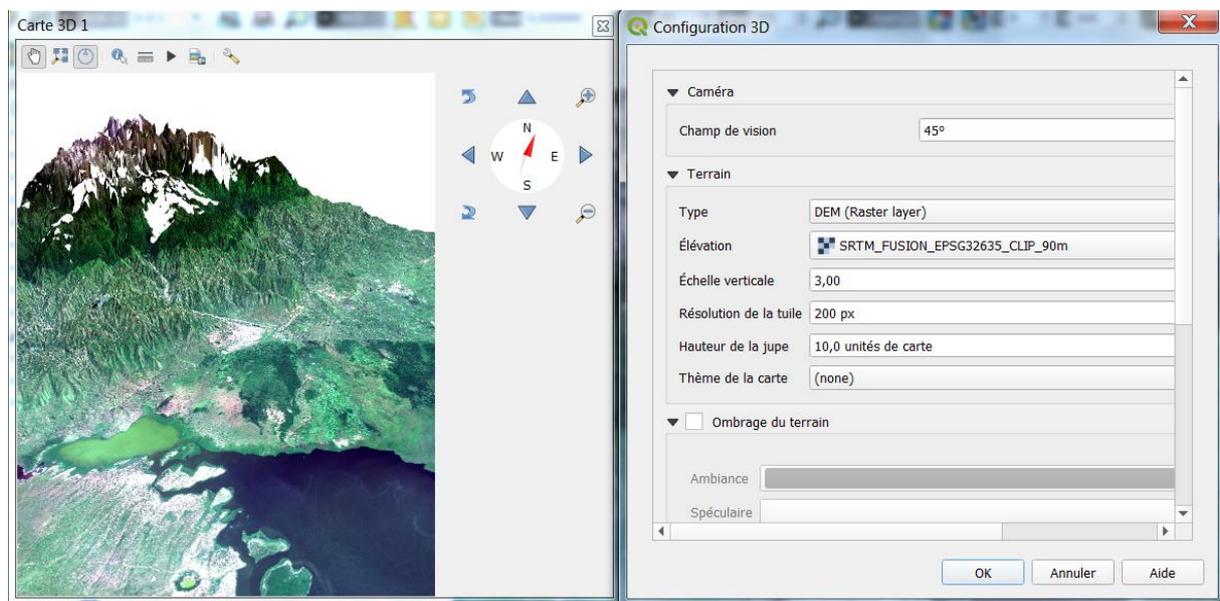
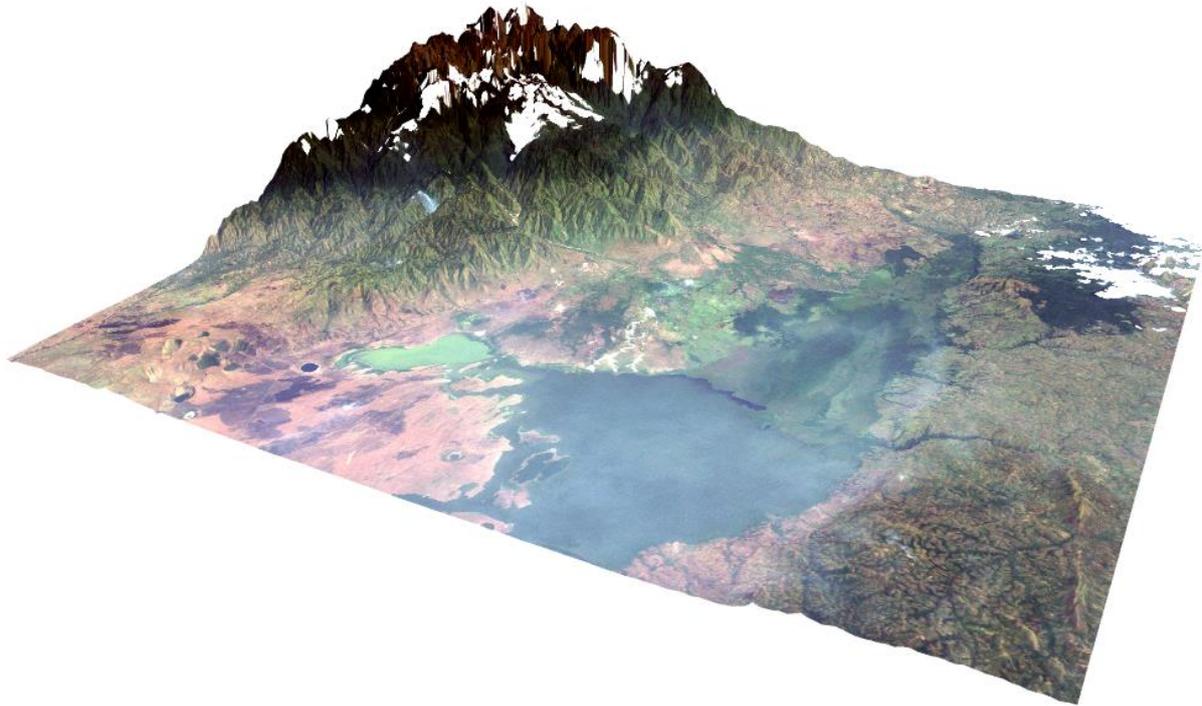


Figure 135 : Interface de construction d'une vue 3D avec la « Vue Cartographique 3D » de QGIS

- **L'extension (à installer) QGIS2threejs**, qui après installation (via le menu Extension > Installer/Gérer les Extensions), est disponible dans le menu « Internet > QGIS2threejs > QGIS2threejs Exporter ». Cette extension, en plus de permettre une représentation 3D, permet également d'exporter cette représentation sous la forme de webmap (carte au format web, interactive (zoomable et orientable en 3D))



**Figure 136 : Représentation 3D en vraies couleurs de la zone d'étude pour l'image Landsat-5 (au-dessus) et Sentinel-2 mosaïquée (en-dessous) produites avec la Vue Cartographique 3D de QGIS**

### 8.7.7. Utilisation de données complémentaires pour la photo-interprétation d'une image

La **photo-interprétation** (reconnaissance des différentes occupations du sol par analyse visuelle) d'une image est parfois difficile :

- Soit parce que l'image ne présente **pas une qualité suffisante** (résolution spatiale et spectrale adéquate),
- Soit à cause d'un **manque d'expérience du photo-interpréteur** ou d'un **manque de connaissance** de la zone.

La photo-interprétation peut **être facilitée** grâce à l'utilisation de **données complémentaires** sur la zone étudiée. **MAIS ATTENTION !** Il faut que ces données complémentaires soient pertinentes pour décrire la zone **A LA DATE CORRESPONDANT A LA DATE D'ACQUISITION DE L'IMAGE SATELLITE**. Par exemple, il sera probablement inutile d'utiliser une donnée complémentaire décrivant l'occupation du sol en 2020 si l'image satellite à photo-interpréter date de 1980 (40 ans d'écart) et que l'occupation du sol a subi beaucoup de modifications entre-temps.

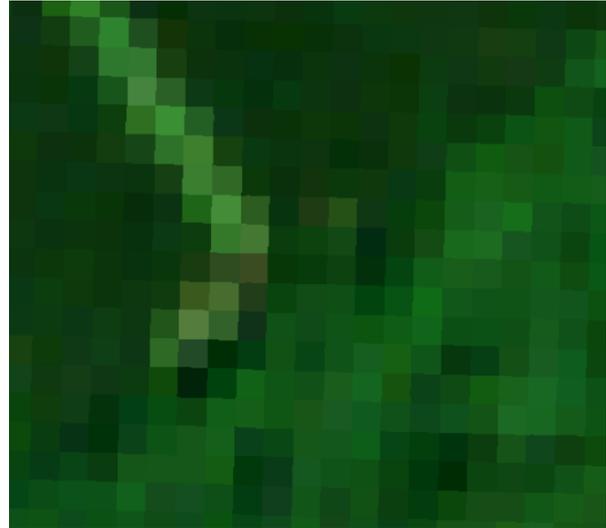
**Voici quelques exemples de données complémentaires :**

- Images satellites de « **Google Earth Pro** » (exemple sur la zone d'étude à la Figure 73 page 140). « Google Earth Pro » dispose d'images satellites à très haute résolution spatiale pour une partie sans cesse grandissante de la planète et permet d'accéder assez facilement à des images satellites d'archive en composition vraies couleurs via l'outil « Images d'archive » (confer section 3 page 33 pour une présentation détaillée de « Google Earth Pro »). La très haute résolution spatiale permettra parfois de mettre un nom précis sur des classes d'occupation du sol qui, à plus faible résolution spatiale (exemple : sur une image Landsat à 30 m ou une image Sentinel-2 à 10 m), se distinguent spectralement (couleurs différentes) mais sont difficilement reconnaissables (Figure 137 ci-dessous).
- **Cartes topographiques**
- Une **enquête de terrain avec relevé GPS**
- **Divers documents** donnant des informations sur l'occupation du sol de la zone.



Très haute résolution spatiale : ~20 cm

Forêts feuillue et résineuse reconnaissables



Haute résolution spatiale : 10 m

Forêts feuillue et résineuse non reconnaissables

**Figure 137 : Exemple de visualisation d'une zone forestière présentant 2 types de forêts, forêt feuillue au Sud-Est (cimes rondes), et forêt résineuse (conifères) au Nord-Ouest (cimes pointues), pendant la saison de végétation, en composition vraies couleurs, en très haute résolutions spatiale (~20 cm) (à gauche, dans Google Earth Pro) et à 10 m de résolution spatiale (à droite, Sentinel-2 dans le viewer TERRASCOPE) (Sud de la ville de Namur en Belgique).**

## 8.8. Classification supervisée par maximum de vraisemblance

### 8.8.1. La classification supervisée par maximum de vraisemblance, une méthode de classification parmi d'autres

Dans le cadre de cet exercice, la **méthode de classification supervisée par maximum de vraisemblance** (méthode de classification par pixel) sera utilisée.

Sachez cependant qu'il existe un grand nombre d'autres techniques de classification d'images, par exemple :

- **Classification supervisée versus classification non supervisée**
  - **Classification supervisée**
    - L'opérateur supervise le processus de classification : en particulier il définit lui-même les classes
    - Exemples : maximum de vraisemblance, distance minimum, Support Vector Machine (SVM), neural network, etc
  - **Classification non supervisée :**
    - Les classes sont définies automatiquement par l'algorithme de classification et une signification leur est attribuée à posteriori
    - Exemples : K-mean, ISODATA
- **Classification par pixel versus classification par objet**
  - **Classification par pixel** : chaque pixel de l'image est classifié sur base de ses valeurs (dans les différentes bandes spectrales), indépendamment des autres pixels de l'image
  - **Classification par objet** : dans un premier temps, l'image est segmentée, c'est-à-dire qu'elle est découpée en « objets » ou groupe de pixels contigus spectralement homogènes (groupe de pixels voisins présentant des valeurs similaires) (Figure 138). Dans un 2<sup>ème</sup> temps ces « objets spectraux » sont classifiés sur base de leurs propriétés qui sont à la fois spectrales (valeurs des pixels) mais aussi de forme (compacte, allongé, etc), de taille (superficie), de relation entre différents niveaux de segmentation (un grand objet peut en contenir plusieurs petits), de relation entre objets voisins, etc.

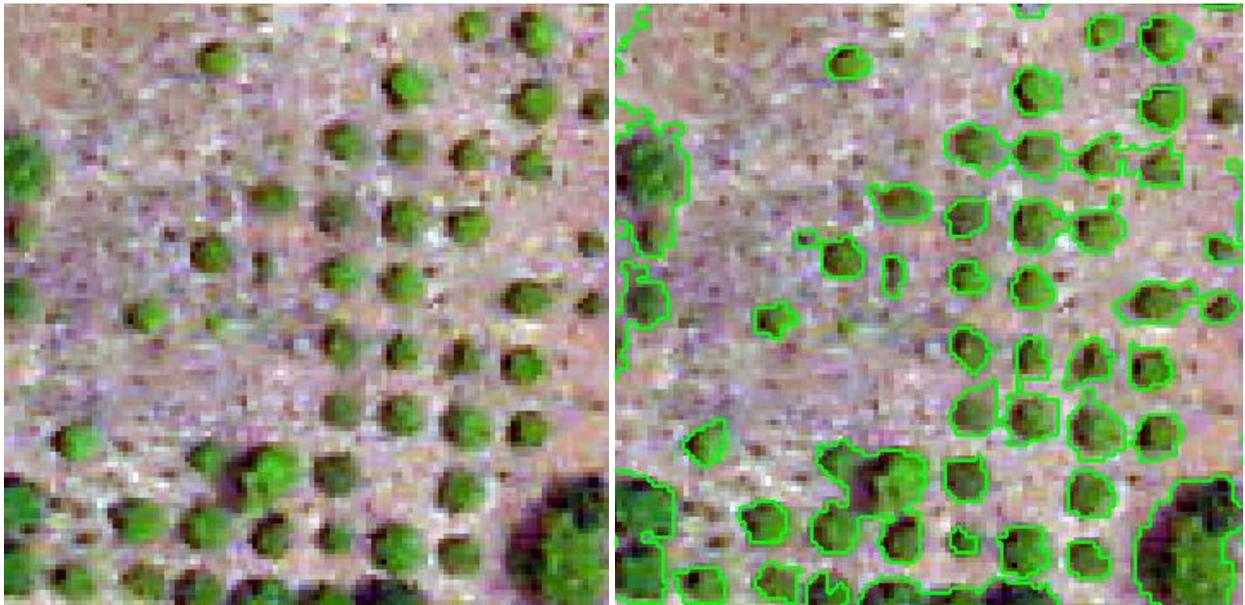


Figure 138 : image aérienne d'un verger (arbres = boules vertes, sol = pixels gris) : image originale (à gauche) et image après segmentation (à droite).

- **Les arbres de décisions** : classification via un ensemble de règles successives souvent binaires qui se ramifient tel un arbre (Figure 139)
- ...

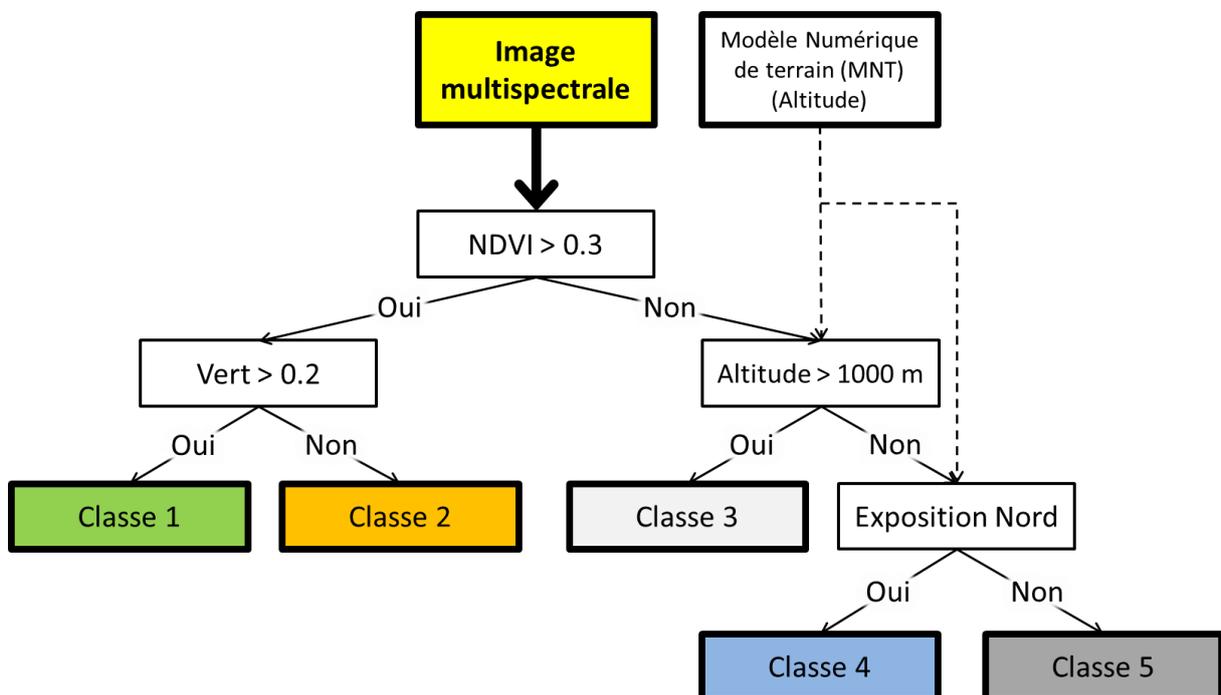


Figure 139 : Principe de l'arbre de décision pour classier une image satellite multispectrale

Notez également qu'une classification d'image peut utiliser des indices dérivés des bandes spectrales de l'image à classier (NDVI, fAPAR, etc) et faire intervenir une série de **données auxiliaires autres que l'image à classier** comme l'altitude, l'exposition, la pente et toute autre information spatiale (Figure 139).

### 8.8.2. La classification supervisée : un processus itératif

La mise au point d'une méthode de classification supervisée pour un cas particulier nécessitera en général de réaliser une série de tests et de **corriger itérativement** la méthode en fonction de la qualité des résultats obtenus. Cette méthode par **essais-erreurs** peut être dirigée essentiellement par :

- Les résultats de la **matrice de confusion** obtenue lors de la validation: si la matrice de confusion présente une confusion (erreurs de classification) trop importante entre 2 classes,
- L'analyse de la **séparabilité spectrale** des classes spectrales : si, à travers cette analyse, l'opérateur se rend compte de l'impossibilité de distinguer avec suffisamment de précision 2 classes spectrales,

Dans ces cas, une **amélioration de la classification** pourrait provenir de :

- La **fusion** des classes spectrales qui ne sont pas suffisamment séparables
- La **subdivision** de classes spectrales en classes spectrales plus spécifiques, dans le cas où la classe spectrale initiale est trop large
- Le développement d'une **stratégie complémentaire/alternative** de classification faisant appel par exemple à:
  - des **données auxiliaires** (autres images satellites ou autres données) ou
  - une **autre méthode de classification** (arbre de décision, autre algorithme de classification, etc)
- La **vérification et la correction éventuelle des ROI (« Region Of Interest »)** de calibration et de validation pour s'assurer que ceux-ci correspondent bien uniquement aux classes spectrales qu'ils sont censés représenter.

### 8.8.3. Sélection des « ROI – Region Of Interest » de calibration ou aires d'entraînement pour chaque classe : bonnes pratiques

La sélection des aires d'entraînement ou, en anglais, « ROI - Region Of Interest », de **CALIBRATION** consiste en l'identification de pixels **spectralement représentatifs** de chaque classe spectrale identifiée précédemment (confer section 8.7 page 225). Ces aires d'entraînement permettront de « calibrer » votre classification. Les ROI sont généralement sélectionnés à l'écran par, le plus souvent, la création d'un ou plusieurs « **polygones** » pour chaque classe spectrale. Cependant des outils de dessins de type « **ligne** » ou « **point** » peuvent également être utilisés si nécessaire. Les ROI peuvent également être directement importés si par exemple ils ont été créés préalablement en format compatible avec un SIG (shapefile, etc) lors d'une enquête de terrain avec relevé GPS. Les ROI de calibration seront utilisés pour calculer une série de **statistiques** (variables selon l'algorithme de classification

choisi) caractérisant chaque classe spectrale, typiquement la **moyenne, l'écart-type, les minimum et maximum** et de la sorte obtenir la « **signature spectrale** » de chaque classe spectrale à partir des différentes bandes spectrales de l'image considérée.

Les aires d'entraînement doivent être représentatives de chaque classe spectrale considérée. Voici **quelques conseils** pour la sélection des aires d'entraînement :

- Les ROI décrivant une classe spectrale donnée doivent être **spectralement (relativement) homogènes** : ils ne peuvent **pas s'étendre sur plusieurs classes** différentes (Figure 140-gauche et centre) et ne peuvent **pas inclure de « mixels »** (pixel mixte couvrant plusieurs classes d'occupation du sol). Typiquement les pixels se trouvant à l'interface de 2 classes d'occupation du sol sont à éviter. Par exemple, lors de la sélection des ROI sur un fleuve, ne pas considérer des pixels à cheval ou se trouvant trop proche de la berge car leur réflectance sera/risque d'être influencée par la berge (Figure 140-droite).



ROI carrés à cheval sur 2 ou plusieurs classes

ROI longeant la bordure de 2 classes

**Figure 140 : Exemples de mauvaises zones d'entraînement ou ROI couvrant plusieurs classes d'occupation du sol différentes ou incluant des « mixels » ou « pixels mixtes ».**

- Il est souvent préférable que ces aires d'entraînement soient **bien réparties sur toute l'image**. En effet, ceci permettra de prendre en compte :
  - Les éventuels **légers gradients de luminosité** entre les différentes zones de l'image (conditions atmosphériques, relief/exposition,...)
  - Une **légère différence spectrale** entre une même classe d'occupation du sol dans des régions différentes (gradient ou classes pédologiques, variation des espèces végétales ou de leur état de développement, etc).
  - ...

- Il faut sélectionner un **nombre suffisant de pixels dans les ROI d'une classe spectrale donnée** pour qu'ils soient **REPRESENTATIFS** de la classe spectrale considérée. Le nombre de pixels nécessaire dépendra donc de la complexité spectrale de chaque classe et de la complexité de l'image. Par exemple :
  - **Cas simple** : une image ne comprenant comme occupation du sol que 2 classes spectralement contrastées, par exemple le désert et la mer, sera extrêmement facile à classifier et cela pourra se faire avec peu de pixels (une seule petite ROI par classe, contenant peu de pixels, suffira probablement vu la différence spectrale très prononcée entre ces 2 classes d'occupation du sol).
  - **Cas complexe** : à l'inverse une image présentant un mélange de végétation naturelle et cultivée de différents types et à différents stades de développement sera plus difficile à classifier car les classes d'occupation du sol sont plus nombreuses, elles se ressemblent plus entre-elles et elles présentent peut-être chacune une plus grande hétérogénéité spectrale. Dans ce cas il sera nécessaire d'utiliser plus de pixels par classe afin que ces pixels soient bien représentatifs de toutes les légères variations d'une classe spectrale donnée et permettent de différencier au mieux les classes les unes des autres.
- Le **nombre de pixels** de calibration pour une classe spectrale devrait idéalement respecter la règle suivante :
  - Un nombre de pixel **supérieur à  $10 * n$**  où  $n$  est le nombre de bandes spectrales considérées (Source : Cindy Schmidt, ARSET Applied Remote Sensing Training, Land Cover Classification from Satellite Imagery, <http://arset.gsfc.nasa.gov>). Le nombre optimal de pixels pour chaque classe est compris **entre  $10n$  et  $100n$**  selon l'aide en ligne d'ArcGIS (Source : <https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/image-classification/image-classification-using-spatial-analyst.htm>).
- La **courbe de la distribution du nombre de pixels en fonction de leur réflectance** (pour une bande spectrale donnée) **pour une classe spectrale** (Figure 141) doit être **uni-modale** (ou s'en rapprocher). Si elle est multimodale, ceci constitue une indication que les pixels utilisés correspondent à plusieurs classes spectralement distinguables avec autant de classes qu'il y a de modes dans la courbe. Un mode ou une bosse dans la courbe identifie un sous-groupe de pixels qui présentent des valeurs de réflectance similaires entre eux mais différentes des autres modes/bosses/groupes de la courbe (dans la longueur d'onde considérée). Il est en

général préférable de créer une classe spectrale par mode/bosse/groupe de la courbe (mais ceci pourrait être nuancé en fonction des « classes objectif » de la classification).

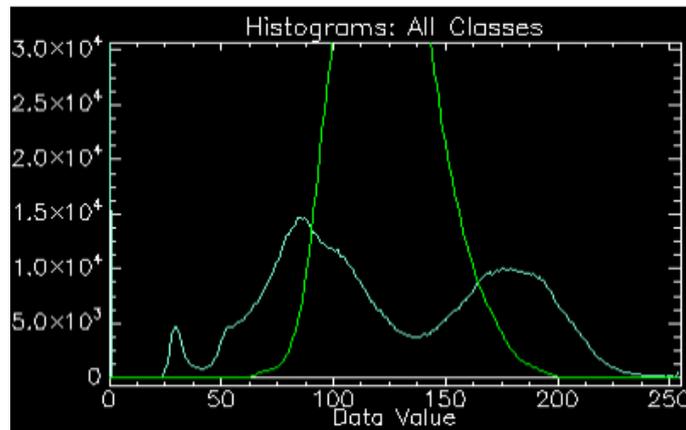


Figure 141 : Courbes de la distribution de la fréquence des valeurs de pixels unimodale (vert) et trimodale (bleue). Axe X = valeurs des pixels, par exemple proportionnelles à de la réflectance. Axe y = Nombre de pixels.

- S'il y a des nuages et qu'ils n'ont pas fait l'objet d'un masquage préalable, faites une classe spectrale « Nuages ».

## 8.8.4. Création des ROI de calibration dans SCP

### 8.8.4.1. Préalables à la création de ROI

#### 8.8.4.1.1. Définir le « Jeu de bandes » à considérer pour la création des ROI



**ATTENTION !** Avant de créer des ROI, il faut créer un « Jeu de bandes » et que ce jeu soit repris dans l'onglet actif du menu « SCP > Jeu de bandes » : de cette manière, les « signatures spectrales » seront calculées sur ce « Jeu de bandes ».

Si ce n'est pas encore fait, créez le « Jeu de bandes » se rapportant à l'image à classifier via le menu QGIS :

- SCP > Jeu de bande

Ce « Jeu de bandes » doit inclure toutes les bandes spectrales utiles à la classification de l'image.

La création d'un « Jeu de bandes » a déjà été expliquée en détails à la section 8.6.2 page 195.

- Cliquez sur l'onglet de ce « Jeu de bandes » pour l'activer via le menu « SCP > Jeu de bandes »

## Facultatif :

- Classez les bandes du « Jeu de bandes » par ordre croissant via le bouton 
- Dans le menu « **Paramètres rapides** », si votre « jeu de bandes » correspond au type d'image, au nombre et aux numéros de bandes et à l'ordre des bandes tels que défini dans les valeurs prédéfinies de ce menu, vous pouvez éventuellement sélectionner le paramétrage rapide correspondant à l'image sur laquelle vous travaillez. Ceci permettra d'ajouter automatiquement au jeu de bandes les informations sur les **longueurs d'onde centrales (et ses unités)** de chaque bande spectrale. Ces informations seront utilisées ultérieurement lors de la réalisation des **graphiques des signatures spectrales** (section 8.8.7 page 255). Vérifiez après-coup que les **longueurs d'ondes** ajoutées sont bien correctes, et le cas échéant, corrigé, éventuellement manuellement.

Une fois le « jeu de bandes » créé, **affichez une composition colorée de l'image satellite à classifier** dans QGIS comme indiqué à la section 8.6.2.2 page 197.

### 8.8.4.1.2. Paramétrage des préférences SCR de QGIS



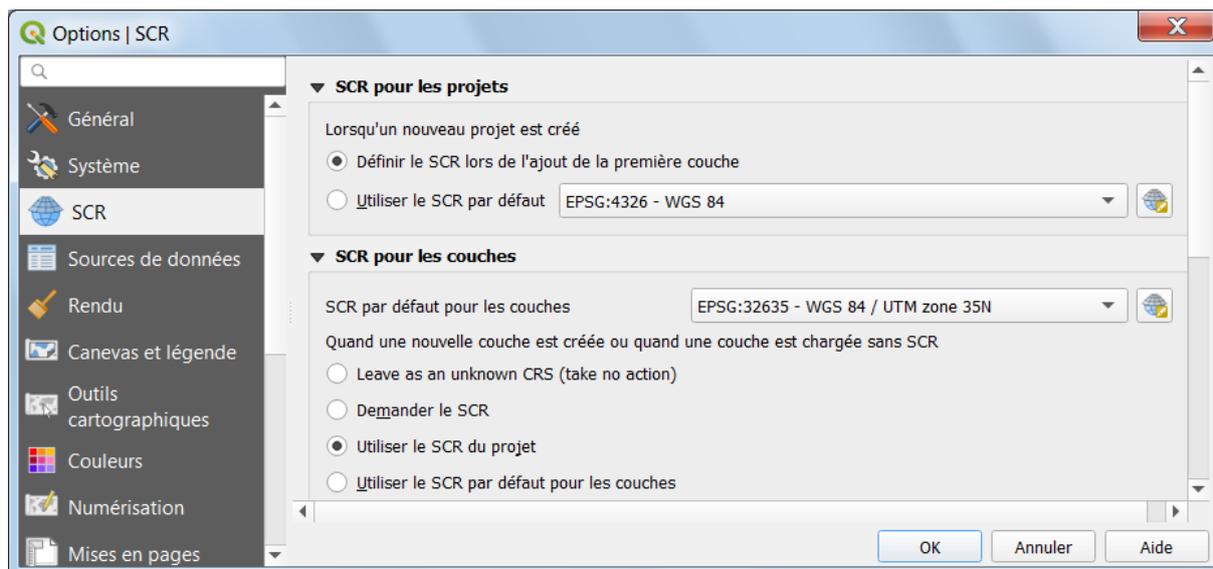
**ATTENTION !** Avant de créer des ROI, il faut paramétrer les « **Préférences** » du projet QGIS pour définir le Système de Coordonnées de Référence (SCR) qui sera attribué par défaut aux fichiers vectoriels nouvellement créés.

Lors de la création d'un fichier de ROI dans SCP, qui est un fichier vectoriel, le système de coordonnées de ce fichier sera automatiquement défini sur base des « **Préférences** » paramétrées de votre projet QGIS.

Pour éviter un bug lors de la création des ROI dans SCP, il faut que le fichier vectoriel de ROI automatiquement créé par SCP soit exprimé dans le même SCR que l'image à classifier et que le projet QGIS lui-même (confer à ce propos la remarque importante de la section 8.3.2 page 143).

Paramétrez les préférences de votre projet QGIS comme souhaité via le menu QGIS « Préférences » (Figure 142) :

- **Préférences > Options > SCR > SCR pour les couches > SCR par défaut pour les couches : indiquer : « SCR du projet : EPSG : 32635... » (l'EPSG 32635 est valable pour l'exemple du manuel. A adapter si vous travaillez sur une autre zone d'étude utilisant un autre SCR).**
- **Préférences > Options > SCR > SCR pour les couches > Quand une nouvelle couche est créée ou... : indiquer « Utiliser le SCR du projet ».**



**Figure 142 : Paramétrage du menu QGIS « Préférences > Options > SCR > SCR pour les couches » avant la création de ROI avec le plugin SCP.**

#### 8.8.4.2. Création d'un fichier de ROI dans SCP

**ATTENTION !** Voir aussi les étapes préalables à la création de ROI à la section précédente : section 8.8.4.1 page 245.

Pour rappel, en cas de nécessité consultez **l'aide en ligne**, notamment la page dédiée à la **description du panneau « SCP Dock »** ou **« Menu SCP »** disponible ici :

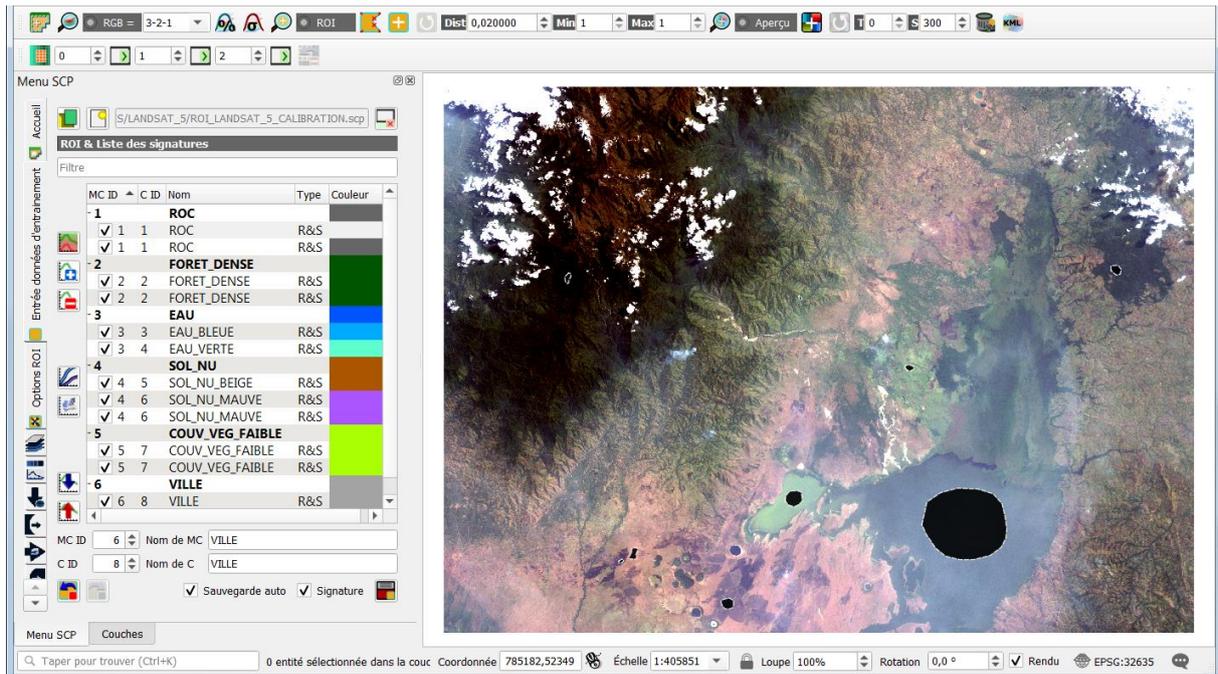
- [https://semiautomaticclassificationmanual.readthedocs.io/en/latest/scp\\_dock.html#](https://semiautomaticclassificationmanual.readthedocs.io/en/latest/scp_dock.html#)

**Pour créer un fichier de ROI avec le plugin SCP de QGIS :**

- Allez dans le panneau **« SCP Dock »** ou « Menu SCP » > Entrée données entraînement > **Créez une nouvelle donnée d'entraînement via le bouton**  > Enregistrez dans votre répertoire de travail et donnez un nom, par exemple « ROI\_LANDSAT\_5\_CALIBRATION.scp » (Figure 143).

Une couche vectorielle temporaire de polygones portant le nom attribué s'ajoute automatiquement dans le panneau « Couches » de QGIS.

Attention, pour éviter toute perte de données, il ne faut pas éditer cette couche avec les fonctions traditionnelles d'édition de QGIS mais uniquement via les outils du plugin SCP.



**Figure 143 : Panneau « Menu SCP » du plugin SCP avec une série de ROI créés en vue de la classification de l'image Landsat-5 (remarque : une classe spectrale « Nuages » aurait dû être ajoutée à la liste des classes spectrales)**

#### Pour dessiner une première ROI :

- Affichez une **composition colorée** de l'image à classifier dans l'interface de visualisation spatiale de QGIS. Cette composition colorée doit provenir du « Jeu de bandes » repris dans l'onglet actuellement actif dans le menu « SCP > Jeu de bandes »
- Zoomez sur la zone d'intérêt où une ROI doit être créée

#### La création des ROI peut se faire via 2 outils de dessin:

- En dessinant manuellement un polygone via le **bouton** 
  - Clics gauche pour dessiner le polygone et clic droit pour terminer le polygone. Pour créer un **ROI multipart**, c'est-à-dire composé de plusieurs polygones, cliquez sur la touche « CTRL » du clavier avant chaque nouveau polygone. « CTRL Z » pour supprimer le dernier polygone créé.
- En utilisant l'outil « Automatic region growing algorithm »  dont la description des différents boutons apparaît à leur survol

Ces boutons créent une « ROI temporaire » qu'il faudra ensuite sauvegarder.

### **Pour attribuer une classe à une ROI temporaire :**

- Fenêtre « Menu SCP » > Entrée données entraînement > ROI & Liste des signatures > et compléter « MC ID » et « Nom de MC », « C ID » et « Nom de C ».
- **MC = « Macro Classe »**
  - MC ID : un numéro unique pour chaque macro classe. Plusieurs ROI peuvent avoir le même MC ID.
  - Nom de MC : nom de la MC
- **C = « Classe spectrale »**
  - C ID : un numéro unique pour chaque classe spectrale. Plusieurs ROI peuvent avoir le même C ID (auquel cas ils seront tous considérés pour définir la signature spectrale de la classe « C ID »)
  - Nom de C : nom de la classe spectrale
- Cette attribution peut se faire également après la sauvegarde de la ROI temporaire en cliquant-gauche 2 fois espacées sur la case à modifier dans le tableau des ROI.

**Remarque :** les lettres reprises dans la colonne « Type » dans le panneau des ROI signifie :

- R = seulement un ROI polygone, sans signature spectrale calculée
- S = seulement une Signature spectrale, sans polygone
- R&S = ROI polygone et Signature spectrale

### **Pour sauvegarder une ROI temporaire :**

- **Clic sur**  (à cliquer après chaque dessin de ROI pour la sauvegarder et pouvoir passer à la ROI suivante).

### **Pour supprimer une ROI :**

- La sélectionner dans la table des ROI puis clic sur .

### **Pour fusionner des ROI :**

- Les sélectionner dans la table des ROI puis clic sur . Cette fonction n'est probablement pas utile pour la classification en tant que telle mais se révèle intéressante si vous désirez réaliser un graphique des signatures spectrales avec une seule signature par classe spectrale (confer section 8.8.7 page 255).

### **Pour définir les couleurs des macro-classes et classes spectrales :**

- Double-clic sur la couleur et ensuite choix de la couleur.

### **Conseils pour faciliter la création des ROI :**

- Changer de **compositions colorées** et appliquer des améliorations de contraste afin de mieux distinguer les classes d'occupation du sol différentes (confer section 8.7.4 page 231)
- L'utilisation de **données auxiliaires** dont un fond de carte d'images satellites à très haute résolution spatiale comme celles fournies par le service « **Google Satellite** » via le plugin « **QuickMapServices** » (confer section 6.1 page 95) peut se révéler utile pour faciliter la photo-interprétation de l'image satellite. Attention toutefois au décalage temporel entre la date de l'image satellite à analyser et celle des images du service « Google Satellite » (confer section 8.7.7 page 238).

#### En cas d'erreur ou de bug du plugin SCP pendant la création de ROI :

- Si un message d'erreur apparaît lors de la création ou sauvegarde d'une ROI et que vous ne comprenez pas ce qui pose problème, une solution radicale est de supprimer le fichier de ROI en cours de création, dans l'interface QGIS et dans l'explorateur Windows, et de recommencer la procédure en créant un nouveau fichier de ROI portant un autre nom, avec éventuellement fermeture/réouverture du projet QGIS entre-temps si nécessaire.

#### 8.8.4.3. Sauvegarde / rappel de ROI

Les ROI créées pour un « Jeu de bandes » peuvent être sauvegardées et rappelées ultérieurement dans le même projet QGIS ou un autre projet QGIS, sur le même « jeu de bandes », ou sur un autre « Jeu de bandes » qui aurait les mêmes caractéristiques spectrales, la même étendue et le même système de coordonnées de référence (SCR).

Pour **sauvegarder des ROI** :

- Lorsque « **Sauvegarde auto** » est coché
  - Les ROI supplémentaires qui sont créés et enregistrés via le bouton  sont automatiquement sauvegardés dans le fichier de ROI « .scp » en cours d'utilisation
  - **ATTENTION ! Mais il vaut mieux également sauver le projet QGIS** pour que les modifications apportées à la liste des signatures des ROI soient 100% enregistrées dans le fichier de ROI « .scp » (extrait du manuel de SCP : « Changes in the ROI Signature list are applied to the file Training input only when the QGIS project is saved. »).
  - Attention ! Si vous effacez les ROI de la table de ROI, cela les effacera automatiquement du fichier de ROI courant et ils ne seront pas récupérables
- Le bouton « **Créer une nouvelle donnée d'entraînement via le bouton**  > Enregistrer dans votre répertoire de travail et donnez un nom »
  - Permet d'**enregistrer le fichier de ROI « .scp »** en cours d'utilisation

- sous le nom courant,
  - ce qui est inutile si « Sauvegarde auto » est coché,
  - mais sera utile si « Sauvegarde auto » n'est pas coché
- sous un autre nom
- **ATTENTION !** L'utilisation de cet outil semble parfois déboucher sur un message d'erreur « **Warning [22]: The coordinate system of training input is different from the input image. Please create a new training input** ». Ce message apparaît lorsque, après avoir créé un nouveau ROI1.scp via le bouton  ET avoir créé un ou plusieurs polygones ROI dans ce fichier ROI1.scp, l'on tente de soit créer un autre ROI2.scp avec  ou d'ouvrir un ROI3.scp préexistant avec le bouton . Une solution est de fermer le projet QGIS et de le ré-ouvrir : vous pourrez alors ré-ouvrir des ROI.scp préexistant sans problème ou en créer un nouveau.

Pour **rappeler des ROI créés et sauvegardés précédemment ou changer de jeu de ROI** lorsque plusieurs jeux de ROI sont disponibles :

- Utilisez le bouton « Ouvrir un fichier de données d'apprentissage  »

### 8.8.5. Prévisualisation de la classification

Une prévisualisation de la classification peut être réalisée pour une petite zone de l'image afin d'avoir un aperçu très rapide de la qualité de la classification pour une zone donnée avant de lancer la classification sur l'ensemble de l'image (étape qui peut prendre plus de temps) (Figure 144).

**Remarque :** les signatures spectrales des classes spectrales doivent avoir été calculées (confer section 8.8.4.2 page 247).

**Pour obtenir une prévisualisation de la classification :**

- **Menu SCP > Traitement de bande > Classification >** (Figure 145 section suivante).
  - Sélectionner le numéro du jeu de bandes sur lequel s'applique la classification
  - Choisir MC ID ou C ID en fonction du type de classe à utiliser pour la prévisualisation
  - Choisir l'algorithme de classification
- **Dans le menu « Classification preview »** de la barre d'outils SCP 
  - Cliquez sur  puis sur l'endroit de l'image pour lequel vous voulez prévisualiser la classification et la prévisualisation apparaît (Figure 144)

- Découvrez éventuellement l'utilité des autres boutons de prévisualisation en les testant
- A tester avec MC ID puis C ID coché

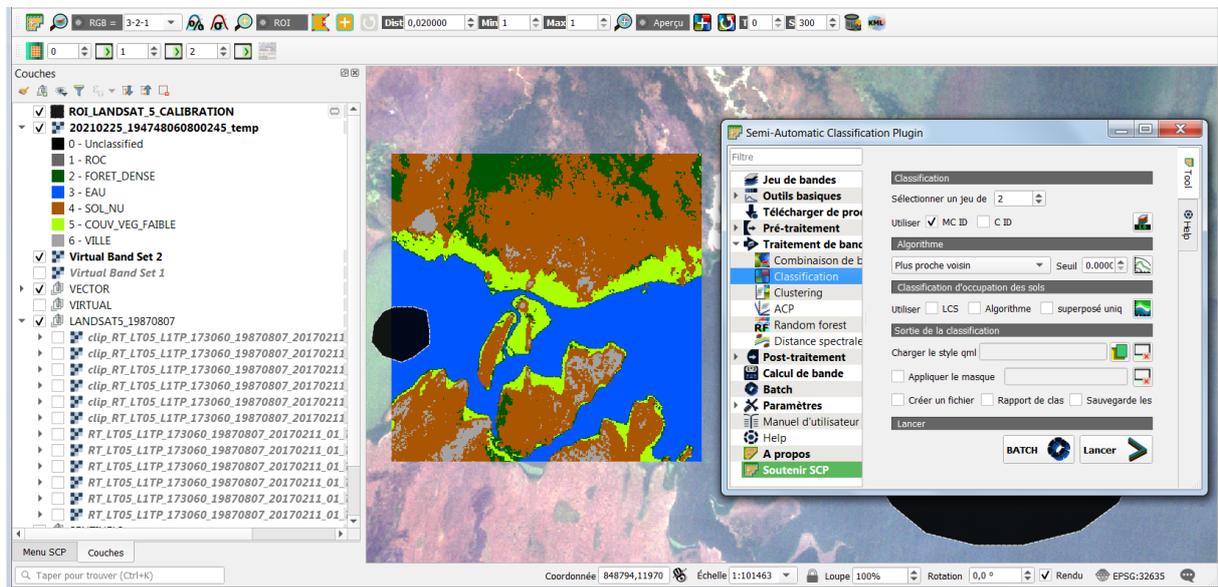
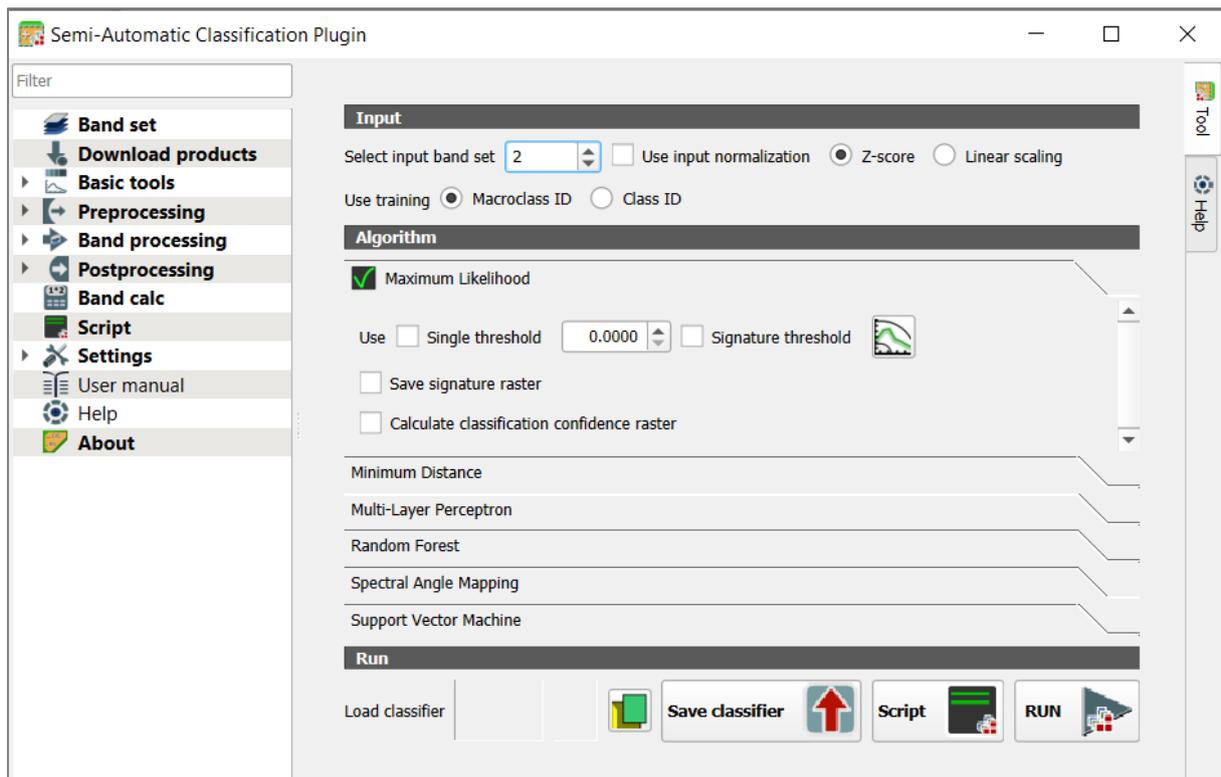


Figure 144 : Aperçu de la classification pour une partie de l'image grâce à l'outil de prévisualisation de la classification du plugin SCP (et ancienne interface de paramétrisation de la classification dans le plugin SCP).

### 8.8.6. Application de la classification

Vient enfin l'étape tant attendue... l'application de la classification sur l'ensemble de l'image. Pour ce faire :

- **Menu SCP > Traitement de bande > Classification >** interface à paramétrer comme désiré, et dans le cadre de cet exercice (Figure 145) :
  - Sélectionner le numéro du jeu de bandes sur lequel s'applique la classification
  - Cochez « MC ID » pour que la classification représente les MC et pas les classes spectrales.
  - Choisir la méthode par « **Maximum de vraisemblance** » (si vous voulez, à vous de tester les autres méthodes et de comparer la qualité des résultats)
  - Laissez les autres paramètres par défaut.
  - Cliquez sur 
  - Choisir le répertoire et donner un nom à l'image en sortie



**Figure 145 : Menu SCP > Traitement de bande > Classification. Aperçu de l'interface 2024 de paramétrisation de la classification dans le plugin SCP.**

La classification se réalise.

- Landsat-5 : ~4 minutes

Attention ! L'algorithme de « maximum de vraisemblance » peut ne pas fonctionner pour les classes dont les ROI présentent une variance spectrale de 0.

L'algorithme de classification selon le maximum de vraisemblance (« Maximum Likelihood ») est appliqué à tous les pixels de l'image sur base des paramètres statistiques décrivant chaque signature spectrale obtenue. La comparaison entre les valeurs de chaque pixel et les signatures spectrales des différentes classes déterminera la probabilité d'appartenance du pixel à chacune des classes. La classe présentant la probabilité maximum sera attribuée au pixel considéré.

- **Visualisez l'image classifiée**, automatiquement ajoutée dans QGIS (Figure 146 et Figure 147)
- **Comparez visuellement l'image classifiée avec l'image de base** pour évaluer la qualité de la classification et identifier les erreurs éventuelles de votre classification, ce qui vous permettra de l'améliorer éventuellement. L'extension QGIS (à installer) « MapSwipe Tool » (confer section 5.2 page 68) peut éventuellement faciliter cette comparaison visuelle.

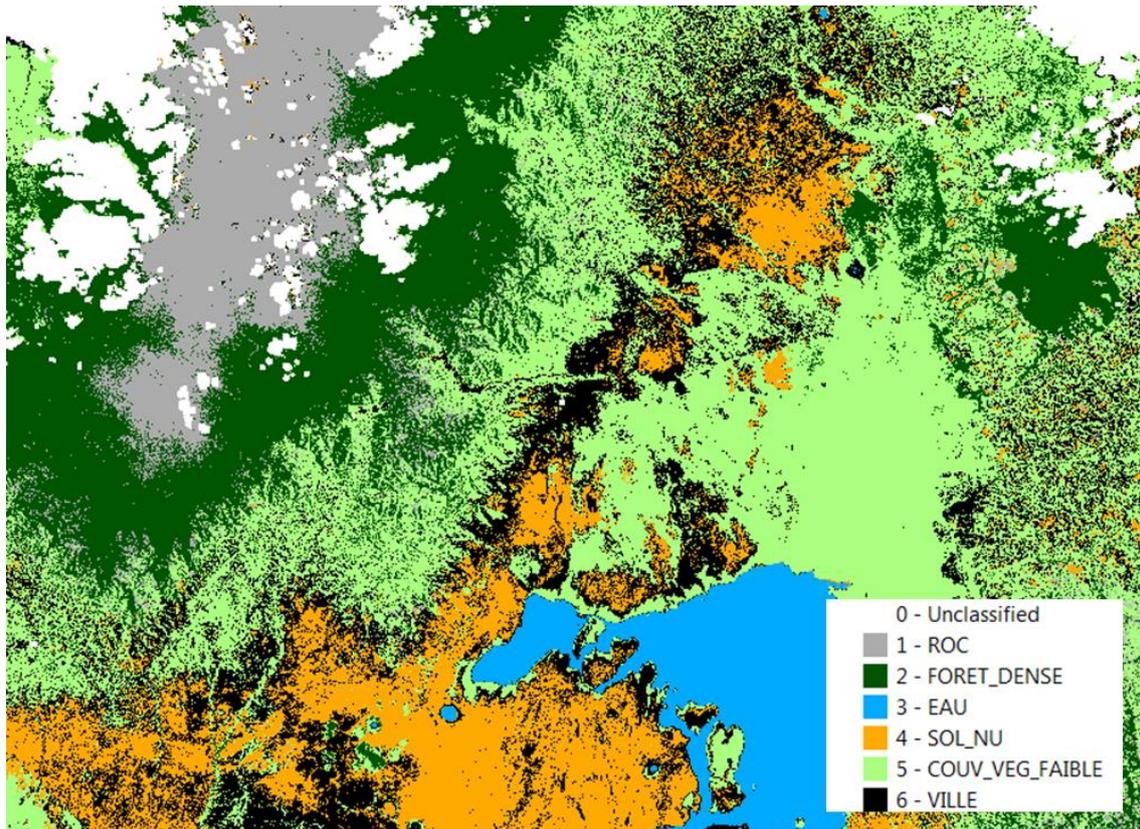


Figure 146 : Premier essai de classification (de mauvaise qualité) de l'image Landsat-5

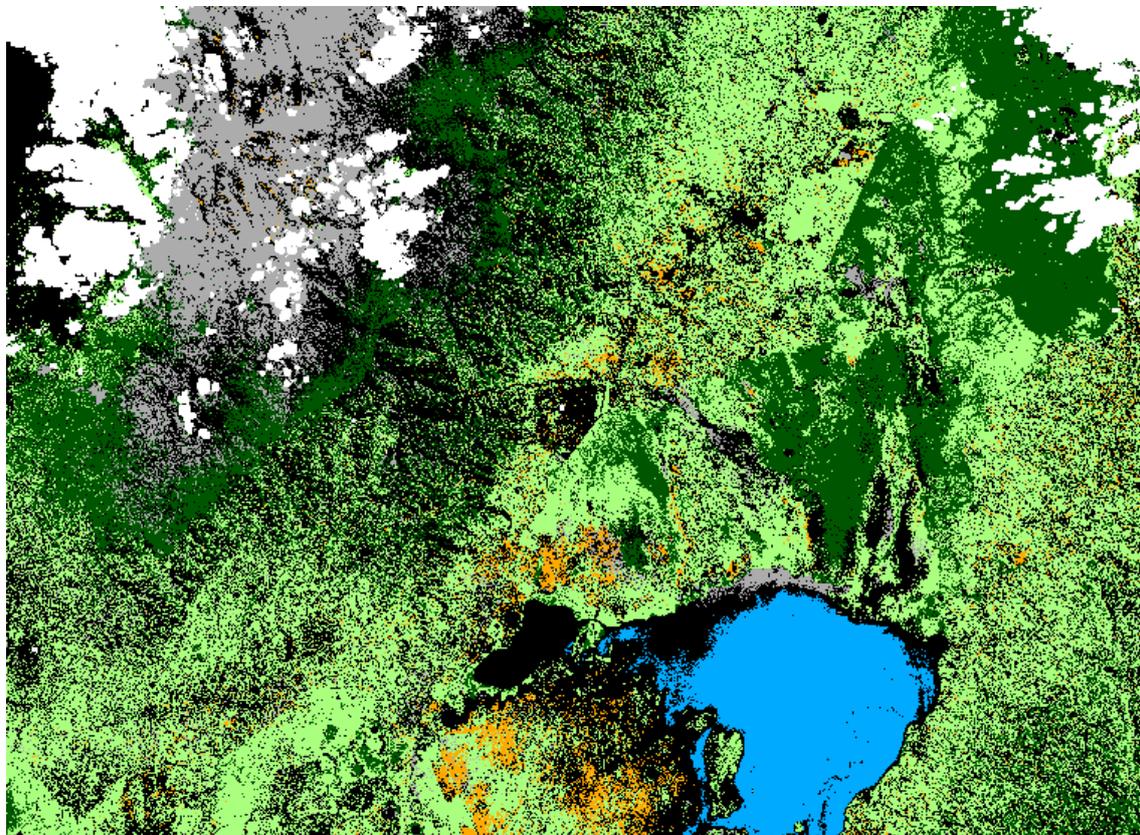


Figure 147 : Premier essai de classification (de mauvaise qualité) de l'image Sentinel-2 mosaïquée

### 8.8.7. Etude de la séparabilité spectrale des classes spectrales

La séparabilité spectrale des différentes classes spectrales peut être analysée afin de quantifier/d'objectiver le caractère séparable ou non séparable de ces classes. 2 méthodes sont disponibles dans QGIS :

- L'examen graphique des **signatures spectrales** de chaque classe spectrale
- Une série d'**indices de séparabilité spectrale**

Documentation officielle disponible ici :

- <https://fromgistors.blogspot.com/p/user-manual.html?spref=scp>

### 8.8.7.1. Graphique des signatures spectrales

Un graphique des signatures spectrales peut se réaliser en

- Sélectionnant les ROI d'intérêt dans l'onglet « Entrée données d'entraînement » du panneau « Menu SCP »
- Puis en cliquant sur le bouton « Ajouter les signatures spectrales surlignées au graphique »  pour créer les graphiques des signatures spectrales

Une fenêtre « SCP : Graphique signature spectrale » s'ouvre et son onglet « Graphique » présente les signatures spectrales (Figure 148). Le bouton  permet d'ajuster le graphique correctement.

Si plusieurs ROI appartiennent à la même classe spectrale, leurs signatures spectrales peuvent être fusionnées via le bouton  du panneau « Menu SCP » et les ROI d'origine décochés dans la table des ROI. Un ROI « merged... » apparaîtra pour les remplacer (Figure 148). Lors de l'examen des signatures spectrales et de l'analyse des indices de séparabilité spectrale, veiller à décocher/ne pas considérer les ROI non pertinents si certains sont remplaçables par leur signature spectrale fusionnée.

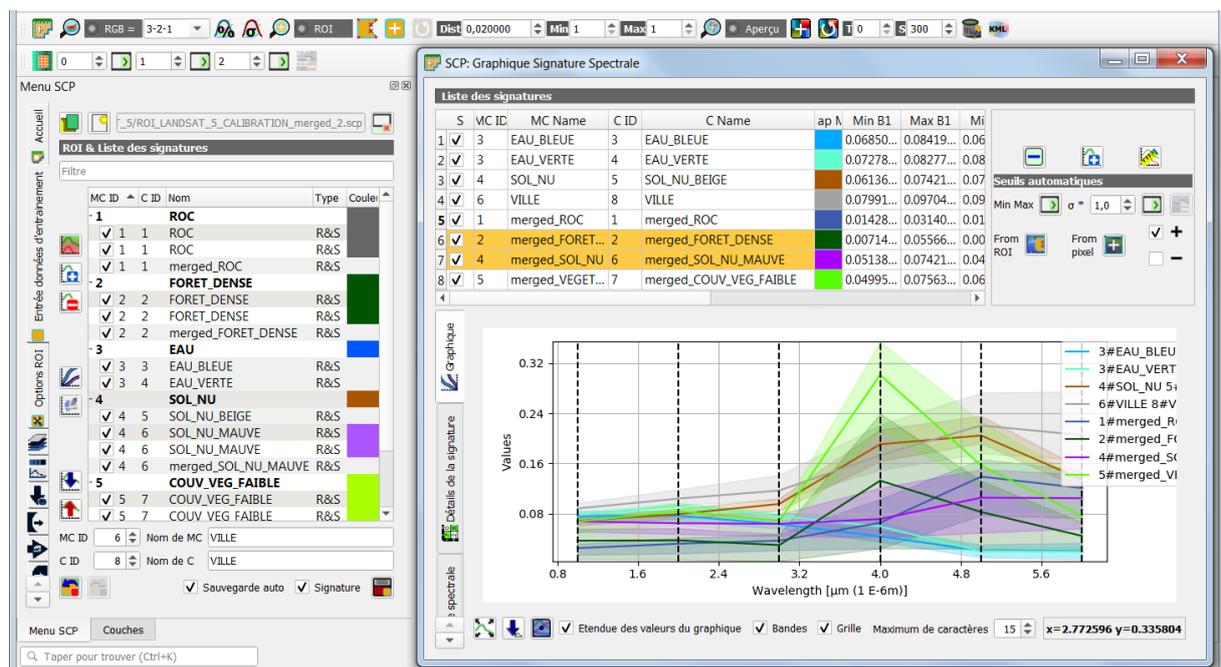


Figure 148 : Signatures spectrales de différentes classes d'occupation du sol dans le plugin SCP de QGIS (après fusion des ROI correspondant à une même classe spectrale)

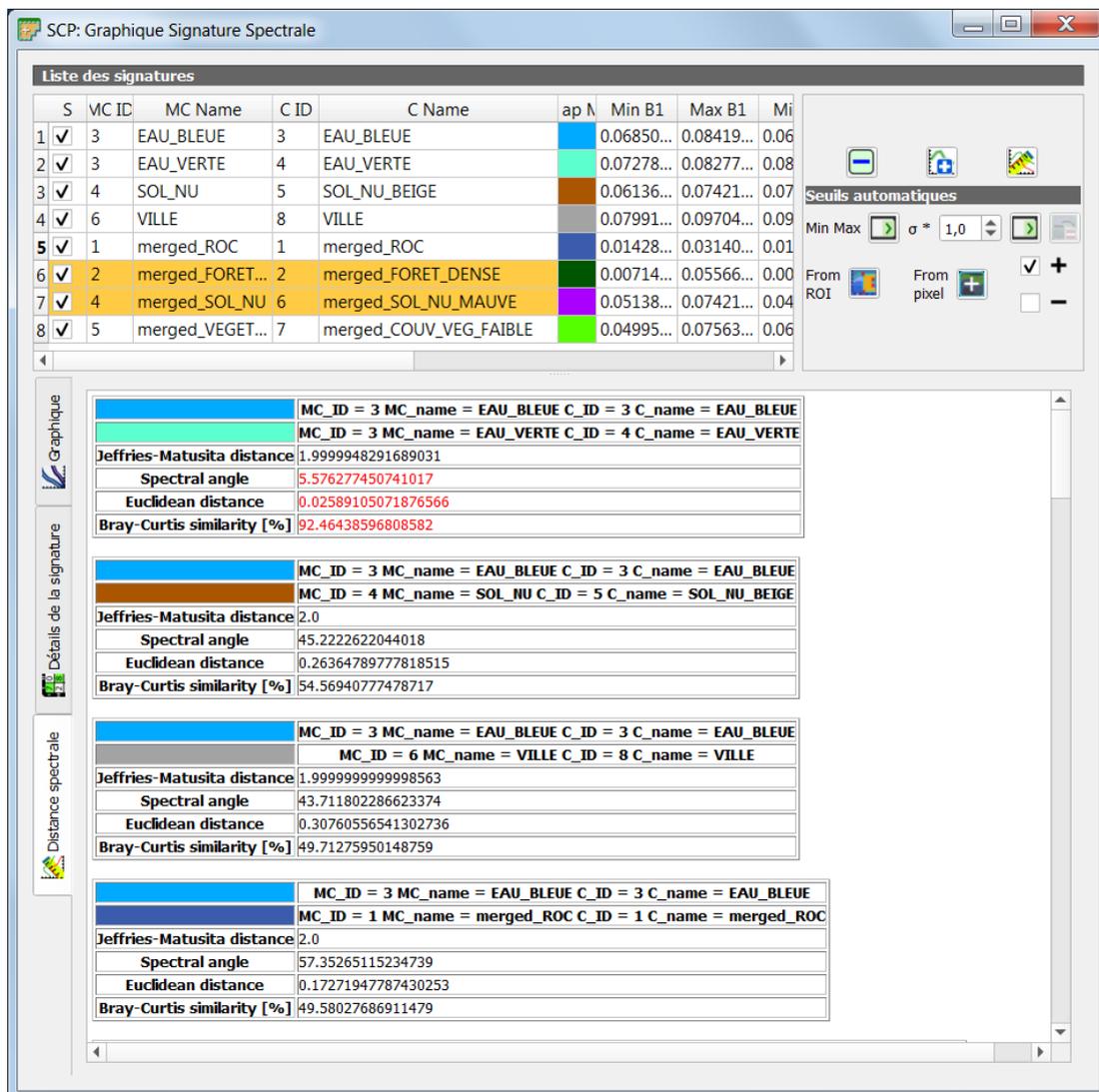
## 8.8.7.2. Indices de séparabilité spectrale

4 méthodes de mesures de la séparabilité spectrale sont proposées dans le plugin SCP :

- [Jeffries-Matusita Distance](#): range [0 = identical, 2 = different]; useful in particular for [Maximum Likelihood](#) classifications;
- [Spectral Angle](#): range [0 = identical, 90 = different]; useful in particular for [Spectral Angle Mapping](#) classifications;
- [Euclidean Distance](#): useful in particular for [Minimum Distance](#) classifications;
- [Bray-Curtis Similarity](#): range [0 = different, 100 = identical]; useful in general;

Pour calculer la séparabilité spectrale :

- Dans la fenêtre « SCP : Graphique signature spectrale », cliquez sur le bouton « Distance spectrale »  pour obtenir une table avec les indices exprimant la séparabilité spectrale des classes (Figure 149).



The screenshot displays the 'SCP: Graphique Signature Spectrale' window. At the top, there is a table titled 'Liste des signatures' with columns: S, VC ID, MC Name, C ID, C Name, ap l, Min B1, Max B1, and Mi. Below this table, there are four detailed panels, each showing spectral distance indices for a specific pair of classes. The indices include Jeffries-Matusita distance, Spectral angle, Euclidean distance, and Bray-Curtis similarity [%].

S	VC ID	MC Name	C ID	C Name	ap l	Min B1	Max B1	Mi
1	3	EAU_BLEUE	3	EAU_BLEUE		0.06850...	0.08419...	0.06
2	3	EAU_VERTE	4	EAU_VERTE		0.07278...	0.08277...	0.08
3	4	SOL_NU	5	SOL_NU_BEIGE		0.06136...	0.07421...	0.07
4	6	VILLE	8	VILLE		0.07991...	0.09704...	0.09
5	1	merged_ROC	1	merged_ROC		0.01428...	0.03140...	0.01
6	2	merged_FORET...	2	merged_FORET_DENSE		0.00714...	0.05566...	0.00
7	4	merged_SOL_NU	6	merged_SOL_NU_MAUVE		0.05138...	0.07421...	0.04
8	5	merged_VEGET...	7	merged_COUV_VEG_FAIBLE		0.04995...	0.07563...	0.06

MC_ID = 3 MC_name = EAU_BLEUE C_ID = 3 C_name = EAU_BLEUE	
Jeffries-Matusita distance	1.9999948291689031
Spectral angle	5.576277450741017
Euclidean distance	0.02589105071876566
Bray-Curtis similarity [%]	92.46438596808582

MC_ID = 3 MC_name = EAU_BLEUE C_ID = 3 C_name = EAU_BLEUE	
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	45.2222622044018
Euclidean distance	0.26364789777818515
Bray-Curtis similarity [%]	54.56940777478717

MC_ID = 3 MC_name = EAU_BLEUE C_ID = 3 C_name = EAU_BLEUE	
Jeffries-Matusita distance	1.999999999998563
Spectral angle	43.711802286623374
Euclidean distance	0.30760556541302736
Bray-Curtis similarity [%]	49.71275950148759

MC_ID = 3 MC_name = EAU_BLEUE C_ID = 3 C_name = EAU_BLEUE	
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	57.35265115234739
Euclidean distance	0.17271947787430253
Bray-Curtis similarity [%]	49.58027686911479

Figure 149 : Indices de séparabilité spectrale des classes 2 à 2

### 8.8.8. Classification rapide des nuages en vue de la réalisation d'un masque de nuages amélioré

#### ! Méthode proposée dans le cadre de ce manuel :

- Landsat-5 : à ne pas faire
- Sentinel-2 : la méthode décrite dans cette section a été utilisée pour créer les 2 masques de nuages améliorés pour les 2 images Sentinel-2. Ces masques sont disponibles dans le dossier « ...\DATA\IMAGES\SENTINEL\_2\ » et s'appellent SENTINEL\_2\_MASQUE\_NUAGES\_20180612.tif et SENTINEL\_2\_MASQUE\_NUAGES\_20180707.tif et prennent pour valeurs 1 pour les nuages et 2 pour le reste.

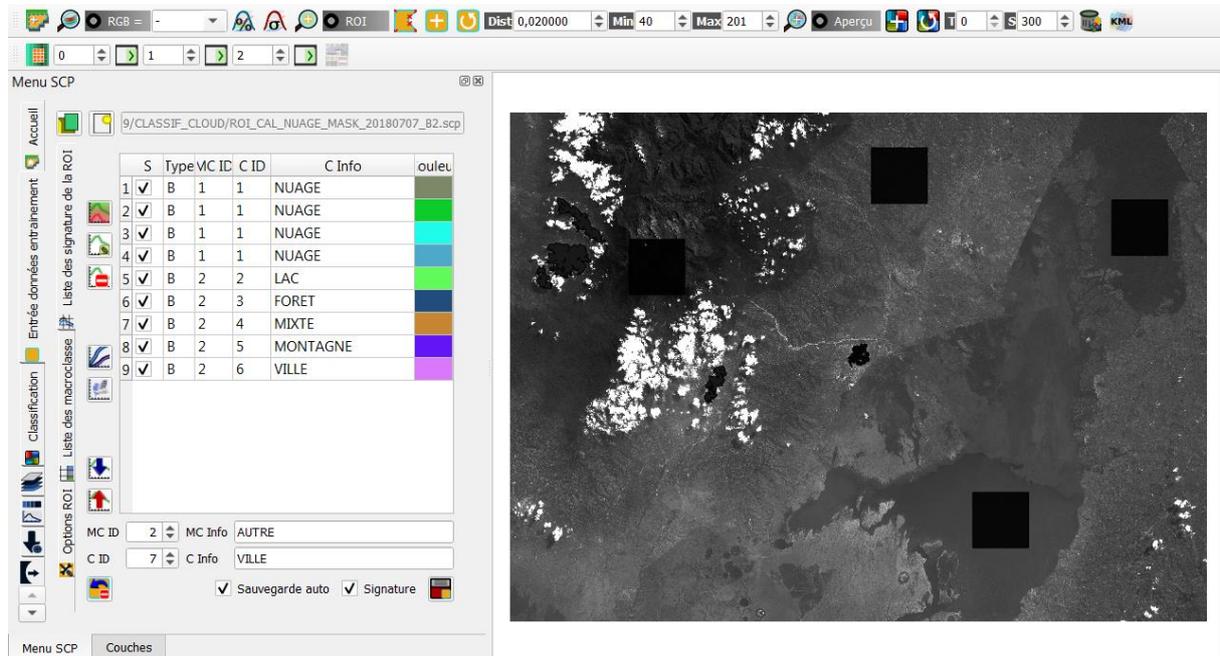
Comme mentionné à la section 8.6.8.3 page 207, un masque de nuages peut être réalisé par classification de l'image présentant les nuages et devant être masquée.

Voici, pour information, la procédure qui a été suivie pour réaliser les masques de nuages améliorés des images Sentinel-2.

#### Classification des nuages :

- Pour une question de rapidité d'exécution de la classification et d'efficacité, seule la bande présentant le contraste le plus marqué entre le sol et les nuages sur les images concernées, soit la bande 2 de Sentinel-2 (la bande du bleu) est utilisée.
- La bande 2 de réflectance, découpées spatialement et rééchantillonnées à 30 m est utilisée
- Attention ! Il faut créer un jeu de bandes avec la bande 2 et que ce jeu soit l'onglet actif dans le menu Jeu de bandes de SCP : de cette manière, les « signatures spectrales » seront calculées sur ce Jeu de bandes
- Avant la création des ROI, il peut être utile de réaliser une amélioration de contraste qui permette de distinguer les différentes occupations du sol
- **2 Macro-classes** sont créées : **NUAGE et AUTRES**
- Quelques ROI sont créés pour la macro-classe (MC ID) nuage avec l'outil « growing region » afin de bien couvrir l'ensemble des nuages y compris les bords de nuages, avec le même identifiant de classe spectrale (C ID) (Figure 150)
- Un grand ROI est créé rapidement pour chacune des autres classes avec comme MC ID « AUTRE » et un C ID différent pour chaque classe spectrale différente (lac, forêt, champs, ville) (Figure 150)
- La méthode de classification utilisant MC ID (NUAGE/AUTRE) avec l'algorithme du « Plus proche voisin » est utilisée

- Un aperçu de la classification peut être utilisé pour vérifier la qualité obtenue. L'outil « Map swipe tool »  (plugin de QGIS) peut être utile pour comparer la classification avec l'image de départ
- La classification est ensuite produite et sa qualité vérifiée visuellement (~1 minute)



**Figure 150 : Création des ROI de calibration pour la classification des nuages (ancienne interface de SCP)**

La classification, si réussie, permet d'identifier les nuages beaucoup mieux que le masque de nuages fourni avec les images Sentinel-2 1C. Cette classification ne sera cependant certainement pas parfaite. Il convient dès lors de la raffiner, en fonction des défauts qu'elle présente (trop ou trop peu de pixels classifiés comme nuage).

**Pour raffiner cette classification**, les techniques suivantes ont été utilisées (à adapter selon la qualité de classification obtenue):

- **Menu QGIS Raster > Analyse > Tamiser...** (Figure 151)
  - A utiliser lorsque des pixels isolés sont à faire changer de classe : certains pixels clairs (villes, lit de rivière) et souvent isolés sont parfois identifiés comme nuages.
  - Cet outil permet de faire disparaître les petites tâches de pixels (trop petites que pour être un nuage) d'une classe dans une autre classe voisine (très rapide) (valeur seuil de 8 et connectivité de 8) → les pixels isolés classifiés comme NUAGE deviennent AUTRE.
  - (la fonction similaire de SCP (cribler/sieve) prend trop de temps à s'exécuter)

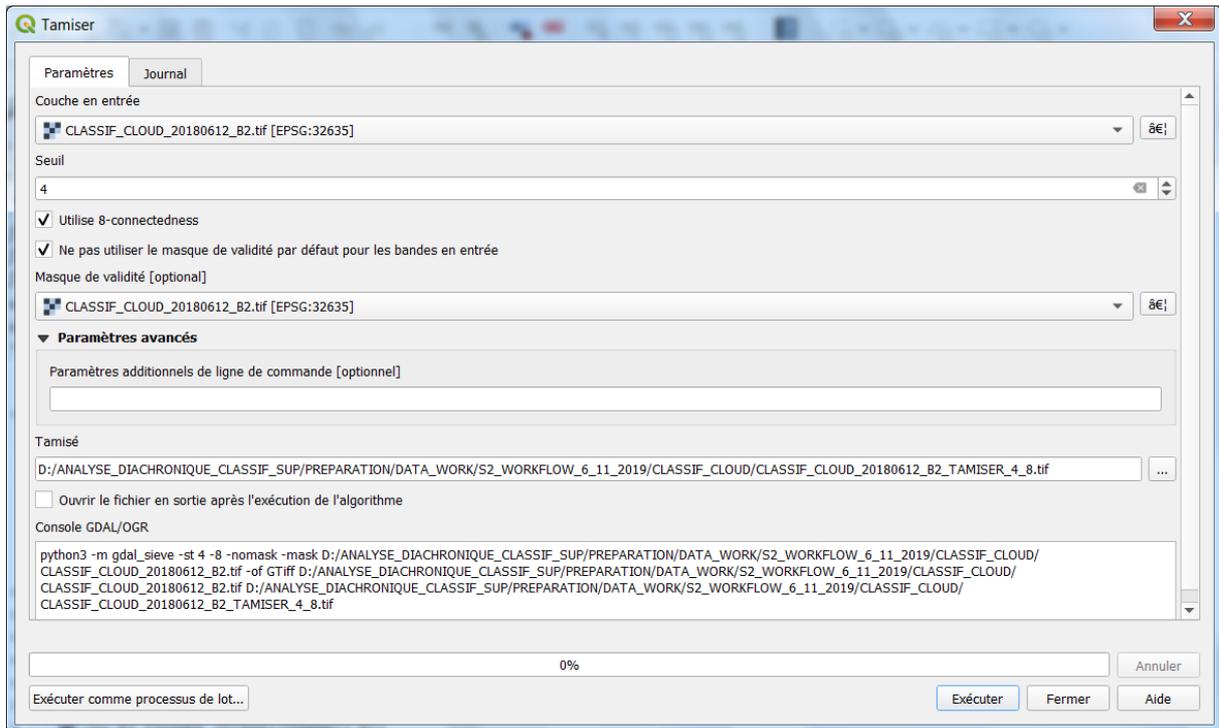


Figure 151 : Outils de tamisage de QGIS (pour fusionner les petits groupes de pixels isolés avec la classe voisine majoritaire)

- **Menu SCP > Post-traitement > Dilater la classification (Figure 152)**
  - permet de faire « gonfler » une classe. A utiliser par exemple si les bords de nuages ne sont pas bien identifiés mais les centres de nuages oui.
  - paramétrage : taille de pixel = 5 et nombre de pixels voisins = 8. Dans le raster résultant : 1 = masque, 2 = pas masque. Ce raster peut être appliqué comme masque sur les bandes spectrales d'une image, comme indiqué à la **section 8.6.8.4 page 211**.

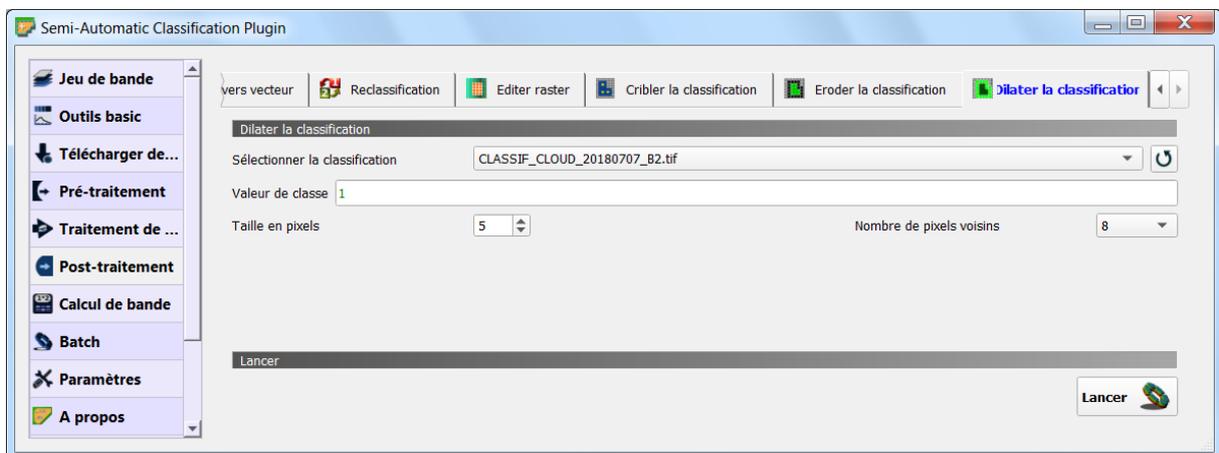


Figure 152 : Outil de dilation de classification utilisé pour dilater la classe nuage (ancienne interface de SCP)

L'image résultante est inspectée visuellement pour estimer la qualité d'identification des nuages.

Faire des tests en modifiant le paramétrage si le résultat n'est pas satisfaisant.

L'identification des nuages est de loin meilleure à celle fournie dans le fichier vectoriel initial (Figure 153).

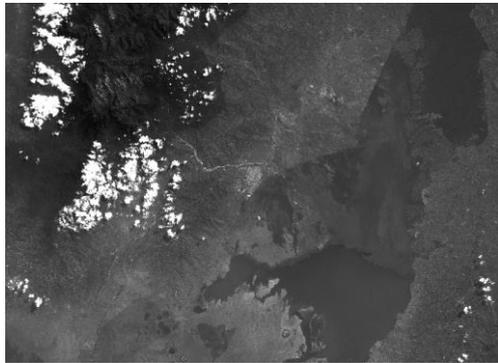


Image Sentinel-2 20180707 bande bleue

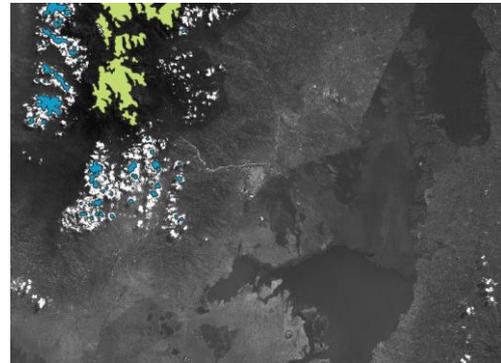
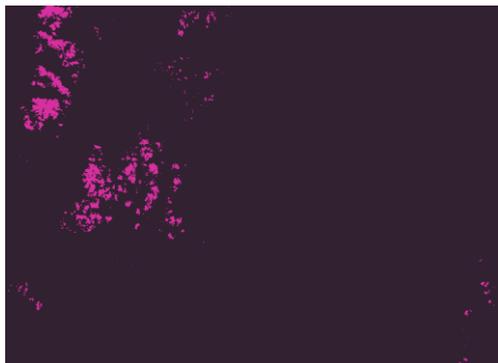


Image Sentinel-2 20180707 bande bleue avec masque de nuages vectoriel fourni avec l'image

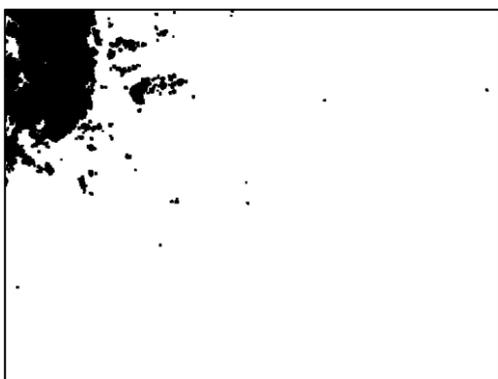


Classification de l'image Sentinel-2 20180707 bande bleue en NUAGE / AUTRE



Dilatation de la classification de l'image Sentinel-2 20180707 bande bleue en NUAGE / AUTRE

Figure 153 : Elaboration du masque de nuages améliorés pour l'image Sentinel-2 20180612



Sentinel-2 20180612



Sentinel-2 20180707

Figure 154 : Masques de nuages améliorés résultant de la classification et raffinement pour les 2 images Sentinel-2

## 8.9. Amélioration de la classification par reclassification conditionnelle et données auxiliaires

### 8.9.1. Introduction

Une classification existante peut être modifiée/améliorée par reclassification de certains pixels sur base d'une comparaison avec les valeurs de pixels d'autres rasters.

Dans le cadre de cet exercice, nous appliquerons **2 reclassifications conditionnelles** (Figure 155):

- **Reclassification de « forêt normale » en « forêt d'altitude »**
  - Les pixels classifiés comme « forêt » seront reclassifiés en « forêt d'altitude » si les pixels correspondant du raster d'altitude ont une valeur > 2400 m
  - Un raster d'altitude sera utilisé (MNT SRTM)
- **Reclassification de « forêt normale » en « forêt riveraine »**
  - Les pixels classifiés comme « forêt » seront reclassifiés en « forêt riveraine » (proche des cours d'eau) si les pixels correspondant du raster de proximité aux rivières = 1, ce qui signifie que ces pixels sont à  $\leq 60$  m d'une rivière
  - Un raster exprimant la proximité aux rivières (zone tampon de 60 m) sera utilisé

**Reclassification conditionnelle multi-temporelle** (non effectuée dans le cadre de cet exercice) :

Il peut être intéressant dans certains cas de reclassifier une classification sur base d'une autre classification de la même zone mais d'une autre date. Par exemple la classe « forêt » de la classification correspondant au temps 2 pourrait être reclassifiée en :

- « forêt ancienne » si une forêt existait déjà au temps 1 (40 ans plus tôt par exemple)
- « forêt jeune » s'il n'y avait pas de forêt au temps 1

### 8.9.2. Préparation des données auxiliaires contenant les paramètres utiles à la reclassification conditionnelle

Dans le cadre de cet exercice, ces données auxiliaires ont déjà été préparées et sont présentées aux sections suivantes :

- Section 8.4.2.1 Raster d'altitude, page 149
- Section 8.4.2.2 Raster de proximité aux rivières, page 156

### 8.9.3. Reclassifications conditionnelles en pratique

Pour reclassifier des pixels d'une classification en fonction des valeurs que prennent un ou plusieurs autres rasters, utilisez le :

- Menu QGIS SCP > Calcul de bande > Règles de décision (Figure 155)

Il faut que les rasters contenant les paramètres utiles à la reclassification conditionnelle soient présents dans le projet QGIS et donc visible dans la « Liste de bandes » de cette fenêtre.

La **colonne « Valeur »** contient la nouvelle valeur à appliquer au raster reclassifié si la condition reprise dans la **colonne « Règle »** et basée sur d'autres rasters est vérifiée.

La reclassification est en générale très rapide et un raster reclassifié est créé.

- Adaptez la symbologie du raster reclassifié en attribuant une couleur pertinente aux éventuelles classes nouvellement créées (confer section 4.8.2.1 page 51) en utilisant une symbologie de type « Palette/Valeurs uniques »

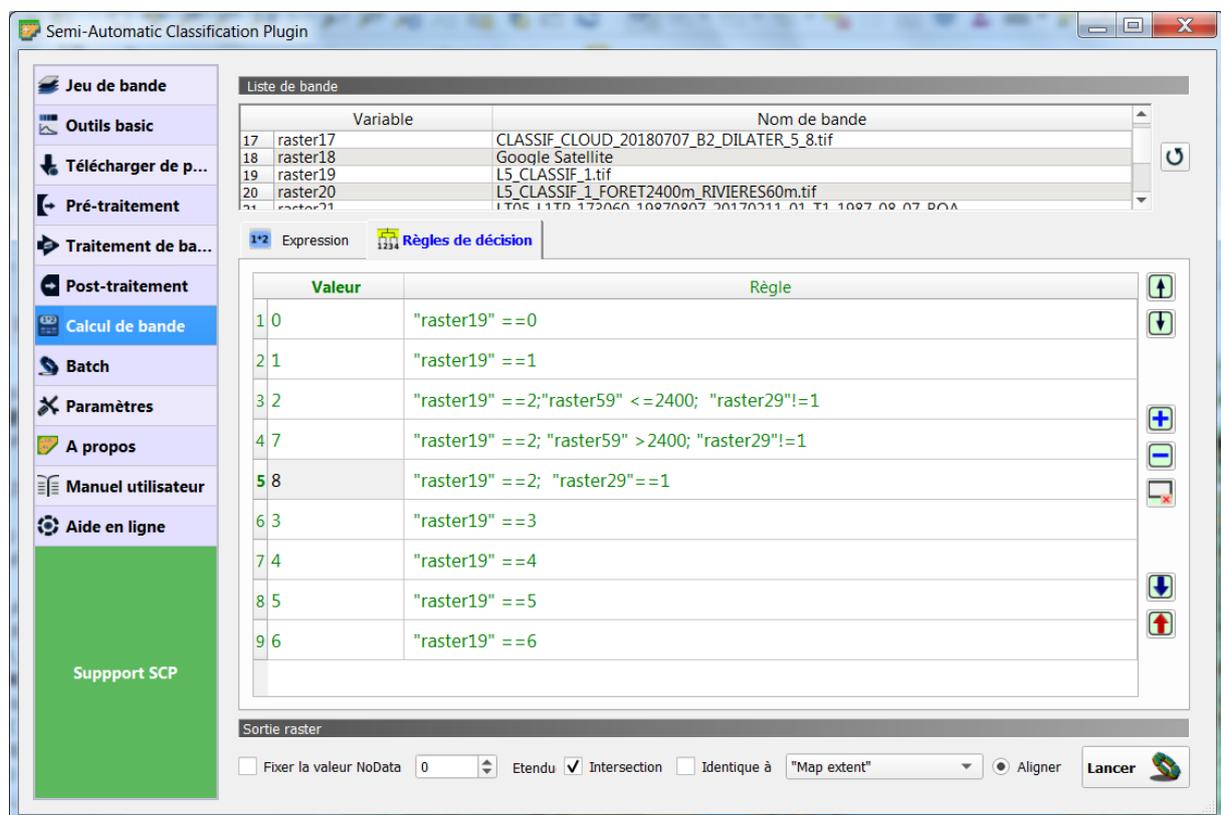


Figure 155 : Reclassification conditionnelle d'une classification avec l'outil « Règles de décision » de SCP (raster19 = la classification, raster59 = MNT et raster29 = raster de proximité aux rivières (zone tampon de 60 m) (ancienne interface de SCP)

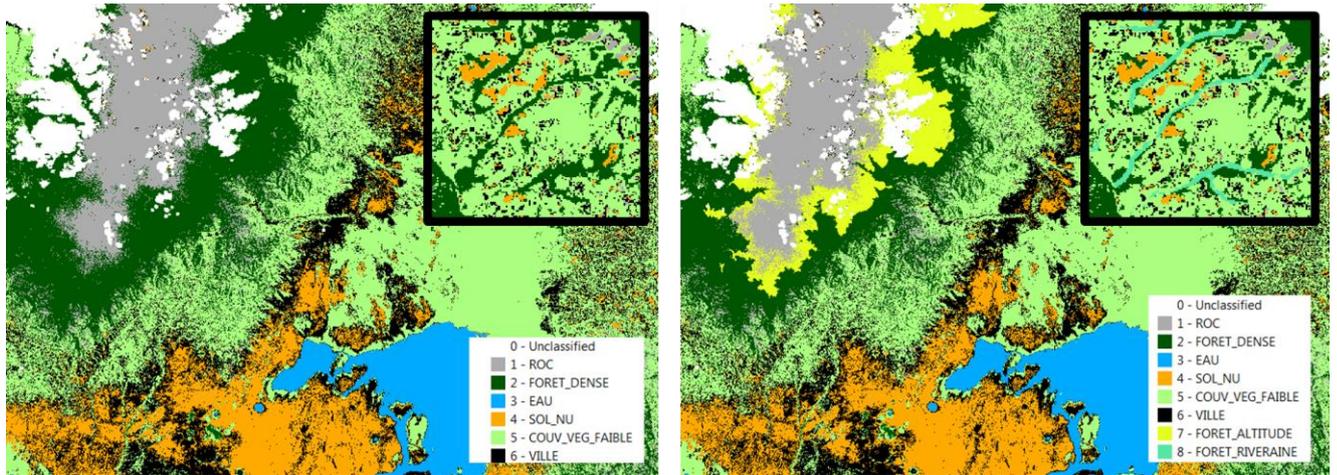


Figure 156 : Classification avant (gauche) et après (droite) reclassification conditionnelle faisant apparaître les forêts d'altitude (vert clair en montagne) et les forêts riveraines (encadré)

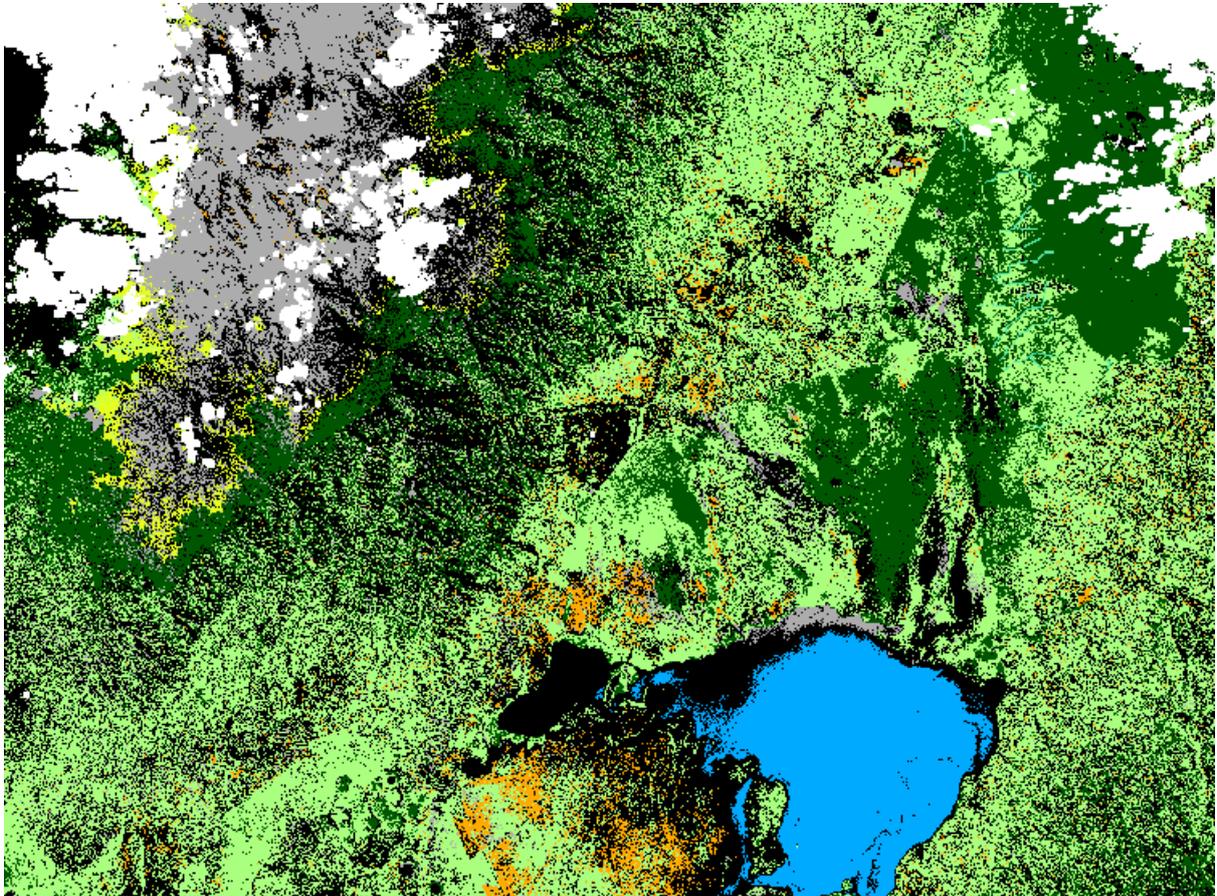


Figure 157 : 1<sup>ère</sup> classification de l'image Sentinel-2 mosaïquée avec reclassification conditionnelle pour les forêts d'altitude et riveraines

## 8.10. Post-traitements d'une image classifiée pour en améliorer le rendu visuel ou la raffiner

Plusieurs opérations de post-traitement peuvent être appliquées sur une image classifiée en vue d'en améliorer le rendu visuel, de corriger certaines erreurs ou de parfaire la classification, par exemple :

- **Pour changer les couleurs de certaines classes**
  - Clic droit sur la classification dans le panneau « Couches » de QGIS > Propriétés... > Symbologie
  - Choisissez des couleurs intuitives pour chacune des classes (par exemple : vert foncé pour la classe « forêt », bleu pour la classe « eau », etc.)
- **Pour fusionner différentes classes**
  - SCP > Post-traitement > Reclassification
- **Pour éditer un raster**
  - SCP > Post-traitements > Editer raster
- **Pour diminuer l'effet poivre et sel typique d'une classification par pixel\*** (Figure 158)
  - SCP > Post-traitements >
    - Cribler la classification : pour fusionner les pixels isolés avec la classe majoritaire environnante
  - Menu QGIS Raster > Analyse > Tamiser...
- **Pour éroder ou dilater frontières de groupes de pixels d'une classe\***
  - SCP > Post-traitements >
    - Eroder la classification : pour éroder/réduire les frontières de groupes de pixels d'une classe
    - Dilater la classification : pour dilater les frontières de groupes de pixels d'une classe

\*Attention, l'application de ce type de filtre modifie la classe attribuée à certains pixels et donc mène à une classification en définitive moins en phase avec l'appartenance spectrale de ces pixels aux classes spectrales telle que définie par l'algorithme de classification utilisé (par exemple : l'algorithme de classification par maximum de vraisemblance). Ce type de filtre peut être utile si l'opérateur désire « lisser visuellement » la classification ou « raffiner » la classification si le filtre est considéré comme une règle de classification à part entière.

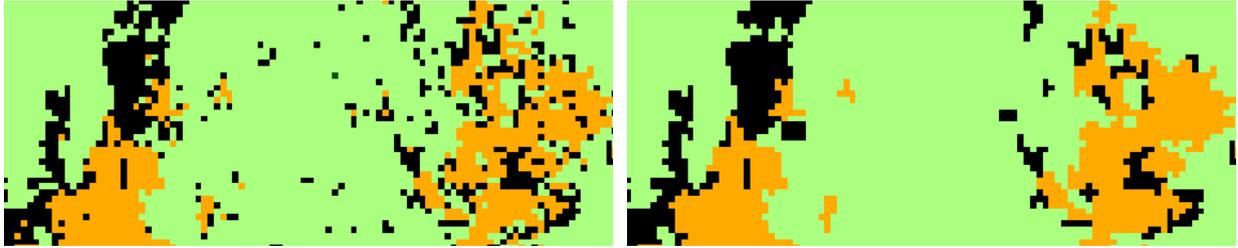


Figure 158 : Exemple de l'effet de l'application d'un filtre majoritaire ou tamisage sur une classification: à gauche : classification originale avec petits groupes de pixels isolés (=effet ressemblant à un mélange de grains de poivre et de sel); à droite : classification filtrée (filtre majoritaire) ou tamisée avec les petits groupes de pixels isolés qui ont été fusionnés dans la classe majoritaire voisine (outils utilisé : « Tamiser » de QGIS avec un seuil de 4).

## 8.11. Evaluation de la précision de la classification par « matrice de confusion » ou « table de contingence »

### 8.11.1. Considérations générales sur l'évaluation de la qualité d'une classification

#### 8.11.1.1. Evaluation de la qualité d'une classification et notions de calibration vs validation

La qualité d'une classification peut être évaluée par **2 méthodes principales** (Figure 159):

- Une **comparaison visuelle** entre la classification et une donnée de référence qui peut être l'image ayant servi à la classification, une autre classification, une autre données qui contient une information sur l'occupation du sol.
  - **Avantage** : rapide, peut donner un rapide aperçu général de la qualité de la classification
  - **Désavantage** : peut être assez subjective et difficile à mener en détails si la zone à observer est grande et les classes nombreuses et présentant une configuration spatiale complexe, par exemple via l'enchevêtrement de nombreuses petites classes sous forme de zones irrégulières (versus répartition claire de peu de classes sous forme de grandes zones régulières)
- L'utilisation d'une « **matrice de confusion** » ou « **table de contingence** »
  - **Avantage** : est plus objective car elle permet de quantifier la précision obtenue à travers une série d'indicateurs chiffrés (précision globale, précision classe par classe, etc) (confer plus loin). A la condition que l'échantillonnage soit correctement réalisé, la matrice de confusion permettra une estimation de la qualité réelle de la classification (pas de sous-/sur-estimation de la qualité)
  - **Désavantage** : prend plus de temps à réaliser car il faut créer/échantillonner les zones de validation et leur attribuer une classe

Lors de la réalisation d'une classification supervisée avec estimation de la qualité de la classification par matrice de confusion, **2 types de ROI (Region Of Interest)** sont créés, ce qui entraîne généralement une certaine confusion dans la compréhension des apprenants. Il est important de bien comprendre la distinction entre (Figure 159):

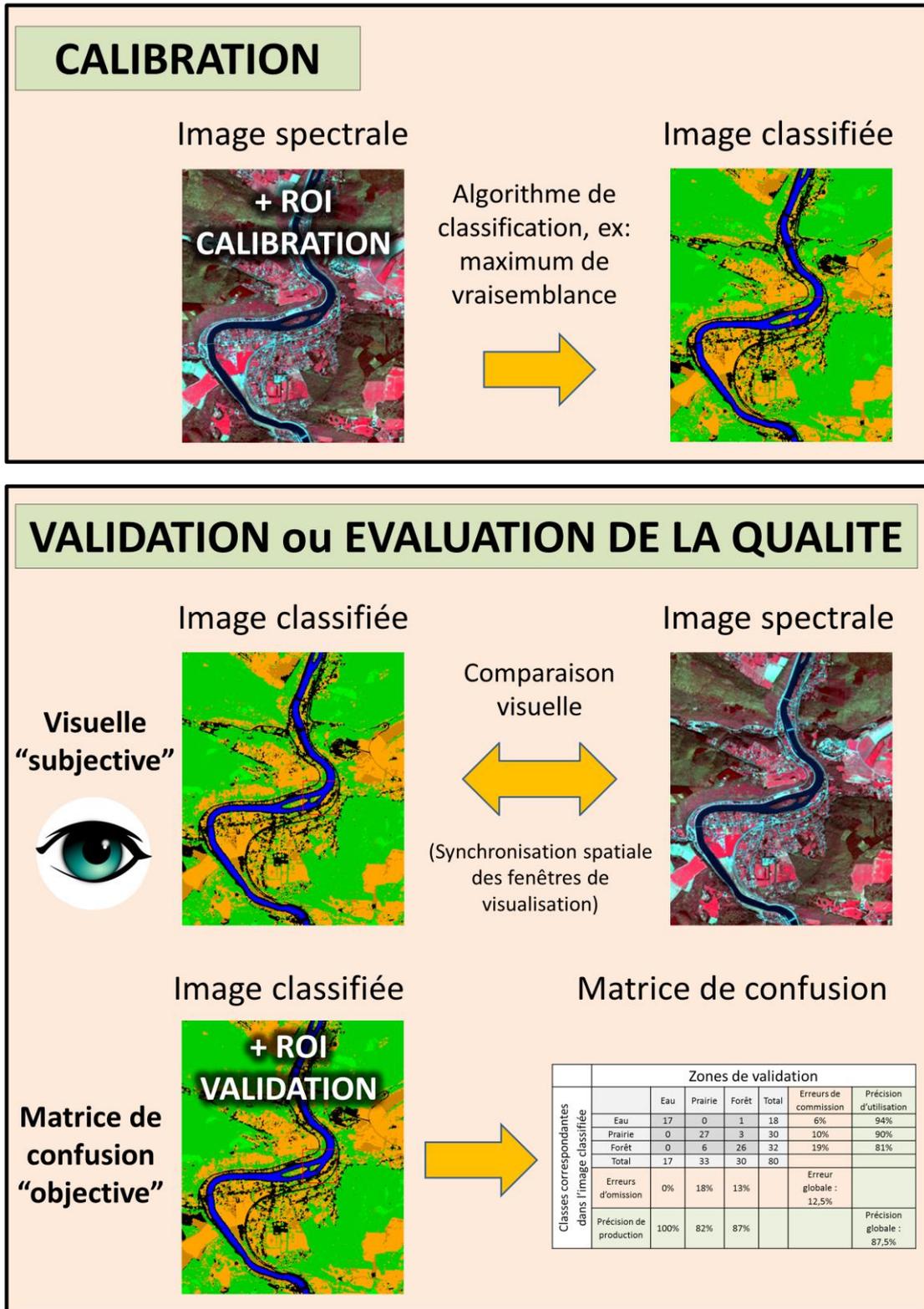
- **Les ROI de CALIBRATION** : elles sont utilisées pour CALIBRER la classification, c'est-à-dire pour calculer les signatures spectrales de chaque classe spectrale qui seront ensuite utilisées pour attribuer une classe à chacun des pixels de l'image au moment de la classification

- **Les ROI de VALIDATION** : elles sont utilisées pour VALIDER/ESTIMER LA QUALITE de la classification, via la production d'une matrice de confusion, et par **COMPARAISON** (au sein des ROI de validation) entre:
  - l'occupation du sol « classifiée » ou « prédite » de la **CLASSIFICATION** et
  - l'occupation du sol associée aux zones de validation lors de la création des **ROI de VALIDATION**

La matrice de confusion est donc calculée **UNIQUEMENT** sur base des zones de l'image classifiée identifiées dans les **ROI de VALIDATION**, d'où l'importance que celles-ci soient suffisamment nombreuses que pour être représentatives de la qualité de l'ensemble de la classification.

# Calibration versus Validation

d'une classification supervisée d'une image satellite



ROI = "Region Of Interest" ou Zones d'intérêt utilisées pour la calibration ou la validation.

Figure 159 : Principes de calibration et validation d'une classification supervisée

### 8.11.1.2. Stratégies d'échantillonnage des zones de validation (ROI de validation)

#### Stratégies d'échantillonnage

Diverses stratégies de sélection (échantillonnage) des zones de validation existent :

- Echantillonnage **dirigé** : les points sont positionnés à des endroits choisis par l'opérateur. Cette méthode n'est pas idéale car l'opérateur aura naturellement tendance à choisir pour la validation des zones qu'il peut facilement photo-interpréter et qui sont probablement plus facilement classifiables que d'autres. Ceci aura pour conséquence de fausser les résultats de la validation en présentant une précision de classification surestimée. Il est préférable que les points soient positionnés aléatoirement.
- Echantillonnage **aléatoire simple** : les points sont positionnés aléatoirement dans l'espace
- Echantillonnage **aléatoire stratifié** (méthode utilisée dans le cadre de cet exercice) : un certain nombre de points, en partie proportionnel à la superficie de chaque classe, est positionné aléatoirement au sein de chaque classe
- Echantillonnage **régulier ou systématique sous forme de grille régulière ou de transects** : les points sont positionnés selon une grille ou un transect (ligne)
- Echantillonnage **spatialement conditionné par l'accessibilité des zones sur le terrain** : par exemple, positionnement des points le long de/à proximité des voies de communication (route, chemin, rivière) ou en évitant des zones d'insécurité, ou trop difficilement accessibles.

Le choix de la méthode d'échantillonnage sera notamment dépend de la possibilité/facilité de **photo-interpréter** l'image et de faire des **relevés de terrain**. Si la photo-interprétation n'est pas possible/suffisante, une enquête de terrain peut être effectuée. Des considérations d'ordre logistiques peuvent alors rentrer en ligne de compte : nombre de jours, budget, hommes, équipement disponibles, etc.

#### Représentativité des zones de validation

Il faut veiller à ce que les zones de validation soient suffisamment nombreuses et réparties de manière homogène sur la carte **AFIN QUE CELLES-CI PERMETTENT DE CALCULER UNE MATRICE DE CONFUSION QUI SOIT BIEN REPRESENTATIVE DE LA PRECISION DE CLASSIFICATION DE L'ENSEMBLE DE L'IMAGE**. Par exemple, si vous utilisez une seule petite zone de validation pour une classe donnée et que par chance tous les pixels de cette zone sont bien classés, la précision de classification obtenue pour cette classe par la matrice de confusion sera de 100% alors qu'il est probable que d'autres pixels appartenant à cette classe à d'autres endroits de l'image soient eux mal classifiés. Dans ce cas votre zone de

validation ne sera pas représentative de l'ensemble de la classe d'occupation du sol et l'estimation de la précision de classification de cette classe sera donc faussée.

### Classe inconnue ?

S'il existe des **zones de validation pour lesquelles la classe d'occupation du sol réelle n'est pas connue** (photo-interprétation trop difficile, pas d'information venant du terrain, etc) il devient impossible d'en réaliser la validation. A l'opérateur alors d'estimer si ces zones sont négligeables (par exemple parce qu'elles couvrent un très faible pourcentage de la surface de l'image), ou pas, et de documenter les limitations de la méthode de validation utilisée.

### Outils d'échantillonnage dans QGIS

- **Outils de base de QGIS** : plusieurs fonctions de QGIS permettent de générer des points positionnés aléatoirement « **Points aléatoires...** » ou selon une grille « **Points réguliers** » (voir le menu « Traitement > Boite à outils > Création de vecteurs »).
- **Plugin SCP** : la fonction « **Création de ROI multiples** » du plugin SCP permet de générer un certain nombre de points positionnés aléatoirement au sein d'une classe d'occupation du sol d'un raster (confer section 8.11.2).

### 8.11.1.3. De la qualité d'une classification

Il n'y a pas vraiment de règle absolue définissant une valeur seuil à atteindre qui caractériserait une bonne/mauvaise classification.

**La qualité de la classification devra être appréciée au cas par cas en fonction :**

- **Des objectifs de la classification**
  - **Toutes les classes** sont-elles réellement d'intérêt ou d'égale importance?
  - Quel **niveau de précision** souhaitez-vous atteindre ? Globalement et classe par classe.
  - Parfois il est important qu'une classe donnée ne contienne aucun intrus, c'est-à-dire que l'on soit certain que tous les pixels classifiés dans cette classe appartiennent effectivement (dans la réalité) à cette classe (**0% d'erreur de commission**), mais il peut être toléré que certains pixels appartenant effectivement (dans la réalité) à cette classe soient classés dans une autre classe (**erreur d'omission**), et inversement.
- **De la difficulté de la classification**
  - Une **classification plus ambitieuse** tentant d'identifier des classes plus précises (par exemple, différencier différents types de végétation verte : bananier, palmier, couvert herbacé, autres cultures) sera plus difficile à réaliser, et obtiendra donc une précision de classification moindre, qu'une

**classification simpliste** ne considérant que quelques classes fortement contrastées (par exemple, les classes sol nu, végétation, eau)

- **Du nombre de classes considérées**
  - Une précision globale de 50% pour une classification ne considérant que **2 classes**, équivaut à une classification aléatoire des pixels (1 chance sur 2 d'être correctement classifié)
  - Une précision globale de 50% pour une classification considérant **10 classes**, représente déjà un certain niveau de qualité de classification
- **De la surface relative des différentes classes**
  - Par exemple, une petite imprécision sur une classe couvrant 90% de la zone étudiée aura peut-être plus d'importance qu'une grande imprécision sur une classe ne couvrant que 5% de la zone.

## 8.11.2. Validation par échantillonnage stratifié aléatoire

### 8.11.2.1. Ressources complémentaires

Pour un tutoriel plus complet et plus détaillé sur la validation par échantillonnage stratifié aléatoire avec le plugin SCP de QGIS, le lecteur est renvoyé au tutoriel officiel du plugin SCP « Tutorial : Accuracy Assessment of a Land Cover Classification » disponible ici :

- <https://fromgistors.blogspot.com/2019/09/Accuracy-Assessment-of-Land-Cover-Classification.html>

### 8.11.2.2. Les grandes étapes

- Calcul du nombre de ROI de validation par classe (en partie proportionnel à la superficie des classes)
- Création des ROI de validation aléatoirement positionné au sein de chaque classe
- Attribution des classes à ces ROI de validation par photo-interprétation (ou autre méthode)
- Calcul de la matrice de confusion et autres statistiques
- Interprétation de la matrice de confusion et autres statistiques

### 8.11.2.3. Calcul du nombre de points de validation par classe

Une méthode pour calculer le nombre de points de validation total à considérer ainsi que leur répartition par classe est proposée dans le tutoriel qui est disponible ici :

- <https://fromgistors.blogspot.com/2019/09/Accuracy-Assessment-of-Land-Cover-Classification.html>

Dans le cadre de cet exercice, par soucis de simplification et de rapidité, une approche simplifiée est proposée.

Le nombre de point total à utiliser pour la validation (N) sera arbitrairement **fixé à 100** (ce qui peut être considéré comme très peu). Dans une situation réelle il faudra suivre les recommandations du tutoriel de SCP pour calculer le nombre de points total (N) !

La répartition de ces 100 points au sein des différentes macro-classes que l'on veut valider se fera selon la règle proposée dans le tutoriel de SCP, à savoir :

$$N_i = \left( \frac{\frac{N}{c} + N * W_i}{2} \right)$$

Où :

- **N<sub>i</sub> est le nombre de point de validation d'une classe i donnée**
- N est le nombre de points de validation total
- c le nombre de macro-classes à valider
- **W<sub>i</sub> le pourcentage surfacique de chaque classe dans l'image classifiée**

N<sub>i</sub> correspond à la valeur moyenne entre une distribution égale du nombre de points entre chaque classe (N/c) et une distribution directement proportionnelle à la superficie de chaque classe (N\*W<sub>i</sub>).

Par exemple, pour l'image Landsat-5 :

- N = 100
- c = nombre de MC = 8 (ne pas considérer la classe « 0 - Unclassified »)
- **W<sub>i</sub>** peut être obtenu via le
  - **Menu SCP > Post-traitement > Rapport de classification**
    - Sélectionner la classification à valider
    - Lancer le calcul et choisir le répertoire de sortie + donner un nom au fichier `texte csv produit`, par exemple « Rapport\_de\_classification\_Landsat5.csv »
    - **W<sub>i</sub> correspond à la colonne « Percentage % »** du fichier csv produit.
- Le nombre de pixels par classe (N<sub>i</sub>) peut ensuite être facilement calculé selon la formule reprise ci-dessus et implémentée dans la **feuille Excel « Calcul échantillonnage stratifié pour validation.xlsx »** disponible dans le dossier « DATA » de cet exercice (Figure 160). Vous adapterez cette feuille Excel en fonction du nombre de classes considérées, de leur W<sub>i</sub> et éventuellement du N que vous avez choisi ou calculé.

0 - Unclassified
1 - ROC
2 - FORET_DENSE
3 - EAU
4 - SOL_NU
5 - COUV_VEG_FAIBLE
6 - VILLE
7 - FORET_ALTITUDE
8 - FORET_RIVERAINE

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	NUMERO DE CLASSE	Nombre de macro-classes total (c)	Pourcentage surfacique de chaque classe. Disponible dans le rapport de classification (fichier csv) (Wi)	<i>Si = standard deviation of stratum i. Doit être estimé en principe</i>	<i>So = expected standard deviation of overall accuracy Doit être estimé en principe</i>	Wi*Si	Calcul du N	Nombre total de pixels à considérer pour la validation de l'ensemble de l'image (N): A <b>CALCULER EN PRINCIPE. Mais défini arbitrairement ici à 100</b>	N/c (nombre de pixels identique pour chaque classe)	N*Wi (nombre de pixels pondéré par la surface relative de chaque classe Wi)	Nombre de pixels à considérer par classe pour la validation selon la formule $((N/c)+(N*Wi))/2$
2					0.01		86.3929				
3	1	8	0.079386762	0.1		0.0079		100	13	8	10
4	2	8	0.141570996	0.1		0.0142		100	13	14	13
5	3	8	0.062645392	0.1		0.0063		100	13	6	9
6	4	8	0.119944678	0.1		0.012		100	13	12	12
7	5	8	0.324256144	0.1		0.0324		100	13	32	22
8	6	8	0.157869319	0.1		0.0158		100	13	16	14
9	7	8	0.042847102	0.1		0.0043		100	13	4	8
10	8	8	0.000957672	0.1		1E-04		100	13	0	6

Figure 160 : Calcul du nombre de points de validation par classe directement en partie proportionnel à la superficie de chaque classe (échantillonnage stratifié) dans la feuille Excel « Calcul échantillonnage stratifié pour validation.xlsx »

#### 8.11.2.4. Création des points de validation

- **Créez un nouveau « Jeu de bandes » qui contient l'image classifiée à valider**
  - Menu : SCP > Jeu de bandes (confer indications à la section 8.6.2 page 195)
  - Remarque : en général, une image classifiée est un raster contenant une seule bande
- **Créez un nouveau fichier de ROI qui recevra les ROI de validation**
  - Fenêtre « Menu SCP » > Entrée données entrainement >  > choisir le répertoire et donner un nom, par exemple « ROI\_LANDSAT\_5\_VALIDATION.scp »
- **Créez les points de ROI localisés aléatoirement au sein de chacune des classes**
  - **Barre outils SCP : mettre « Min » et « Max » à 1** : cette valeur, définissant la taille min et max des ROI de validation à créer, sera automatiquement considérée lors de la création des ROI par l'outil de « création de ROI multiples » (confer ci-dessous). Dans ce cas-ci nous voulons générer des ROI de taille = 1 pixel.



- **Fenêtre « Menu SCP » > Entrée données d'entrainement > ROI & Liste des signatures** : renseigner "MC ID" = 0, "Nom de MC" vide, "C ID" = 0, et "Nom

de C" vide. Ces valeurs seront automatiquement reprises pour tous les ROI de validation générés dans l'étape suivante. Ces valeurs devront être ensuite éditées via photo-interprétation. Indiquer une valeur de 0 ou vide permettra de distinguer plus facilement les ROI déjà édités de ceux non encore édités.

MC ID	<input type="text" value="0"/>	Nom de MC	<input type="text"/>
C ID	<input type="text" value="0"/>	Nom de C	<input type="text"/>

○ **SCP > Outils basic > Création de ROI multiples**  (Figure 161)

- Paramétrez la fenêtre comme désiré pour la création des ROI de validation d'une classe donnée. Un exemple est donné dans la **Figure 161 et sa légende.**
  - « Nombre de points » correspond au  $N_i$  calculé précédemment.
- Cliquez sur **Créer des points**  ce qui créé les points et les affiche dans la table
- **Répéter l'opération pour toutes les macro-classes** en adaptant à chaque fois le nombre de points à créer et la valeur du raster de classification qui désigne la classe concernée (Figure 160)
- **Décocher « Calculer les signatures »** (car pas besoin)
- **Lancer la création**
- (Attention ! Il faut que la classification et le projet QGIS soient dans le même SCR !, Confer section 8.3.2 page 143)
- Les points créés viennent s'ajouter dans la Fenêtre « Menu SCP » > Entrée données d'entraînement > ROI & Liste des signatures avec dans la colonne « Type » : ROI (= sans signature spectrale calculée) (Figure 162) mais avec un « MC ID » et « C ID » = 0 et sans « Nom ».

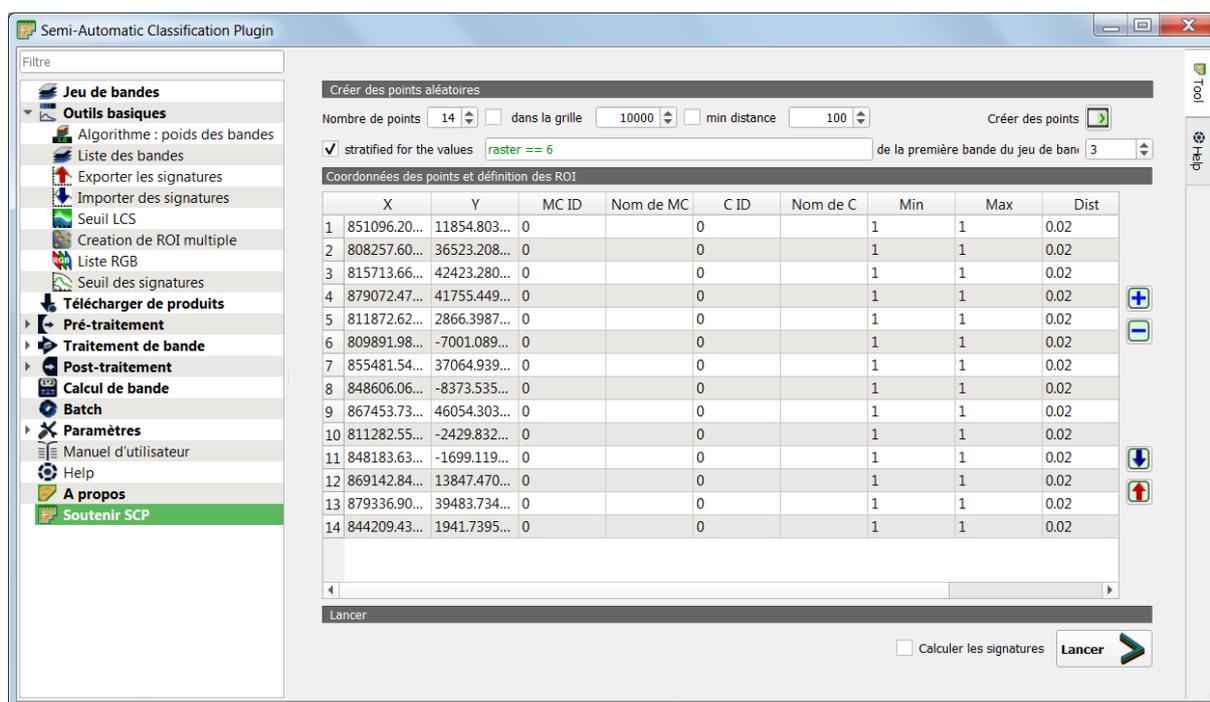
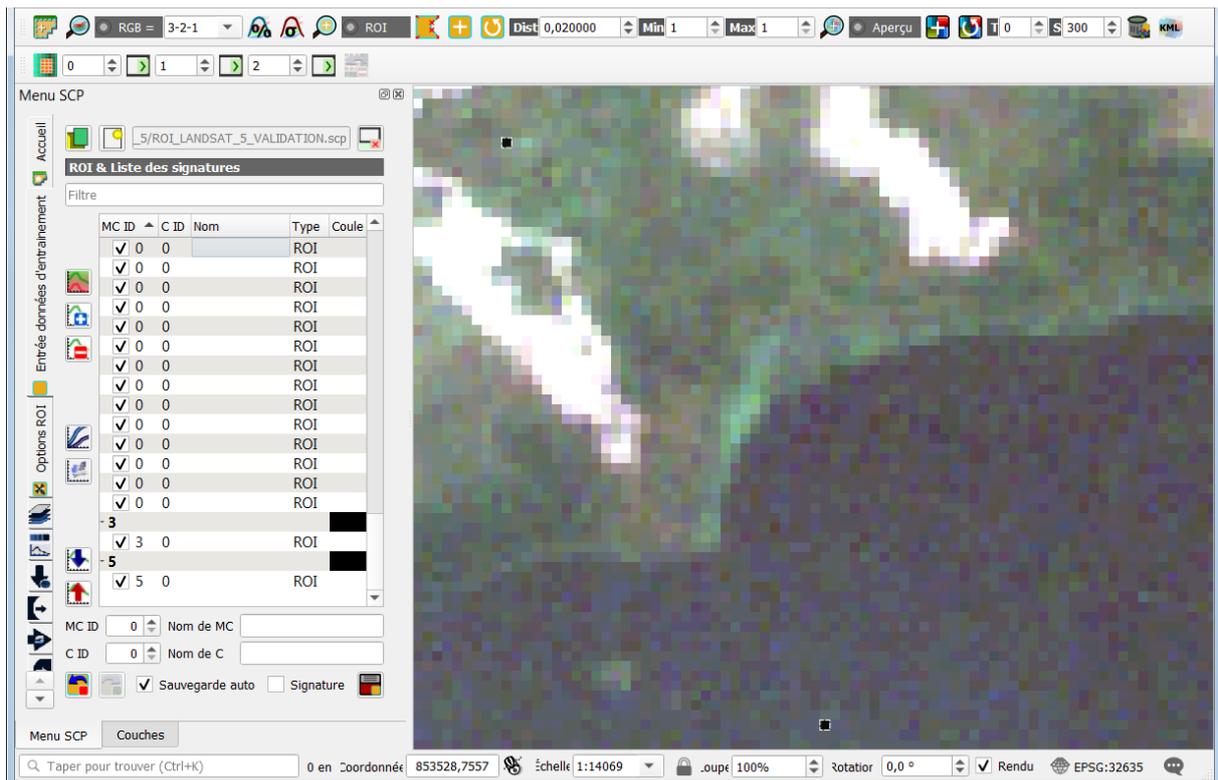


Figure 161 : Fenêtre « SCP > Outils basic > Création de ROI multiples ». La paramétrisation de cet exemple a créé 14 points dans la classe correspondant à une valeur de pixel de 6 dans le raster de la classification qui est repris dans le « Jeu de bandes » numéro 3.

### 8.11.2.5. Attribution des classes aux ROI de validation via photo-interprétation (ou autre technique)

- Affichez dans QGIS une **composition colorée** de l'image utilisée pour produire la classification à valider ou une autre source d'information qui pourrait être utilisée pour attribuer les classes aux ROI de validation
- Fenêtre « Menu SCP » > Entrée données d'entraînement > ROI & Liste des signatures (Figure 162)
  - Pour **zoomer automatiquement sur un ROI pixellaire de validation**, faire un clic-droit sur le ROI puis Zoom to, ou double-cliquez sur une ligne de la table des ROI de validation.
  - Dé-zoomer ensuite jusqu'à être capable d'identifier par photo-interprétation la classe correspondante à ce pixel
  - Encodrez le « MC ID » (et « C ID » éventuellement, ce qui n'est pas nécessaire si vous faites une validation sur les MC uniquement) dans la table des ROI pour le ROI considéré en cliquant UNE FOIS de plus sur la cellule à éditer. **Attention !** Une fois le « MC ID » (et « C ID ») encodé et validé, la ligne correspondante vous donnera l'impression de disparaître, mais elle va en fait automatiquement se déplacer tout en bas du tableau des ROI où vous pourrez la retrouver (les lignes du tableau sont automatiquement reclassées sur base du « MC ID »).
  - **Répétez l'opération pour tous les ROI de validation**

- Si un pixel est un mixel (pixel composé de plusieurs occupations du sol) une solution approximative est de considérer la classe la plus importante en surface dans le pixel
- Si la photo-interprétation n'est pas possible, soit attribuez la classe la plus probable, soit attribuez un nouveau code MC ID qui identifiera les pixels non photo-interprétables (méthode non encore testée).
- Le fichier de ROI est sauvegardé automatiquement si la case correspondante est cochée.



**Figure 162 : Attribution des identifiants des macro-classes (« MC ID ») aux points de validation (générés de manière aléatoire stratifiée) par photo-interprétation. Les points de validation correspondent aux pixels noirs dans l'interface de visualisation spatiale de QGIS. Dans cette illustration, seuls 2 ROI de validation ont déjà reçu un MC ID (de 3 et 5).**

### 8.11.2.6. Création de la matrice de confusion (avant et après regroupement des classes et/ou post-traitements)

Pour créer la matrice de confusion

- **SCP > Post-traitement > Précision**

- Paramétrer comme dans la Figure 163
  - Vecteur de référence = le nom du fichier de ROI de validation
- Lancez et choisir le répertoire de sortie et donner un nom, par exemple « Validation\_Précision\_Landsat5 » qui sera utilisé pour produire :

- **Un fichier CSV** contenant la matrice de confusion et les statistiques dérivées (Figure 164): à interpréter ! Confer sections suivantes.
- (Une image d'erreur dont la valeur des pixels correspond à un code d'erreur « ErrorMatrixCode » tel qu'identifié dans le fichier CSV.)
- Les résultats de l'analyse de précision apparaissent aussi dans la partie « Sortie » de l'interface du menu « Precision » (Figure 164).

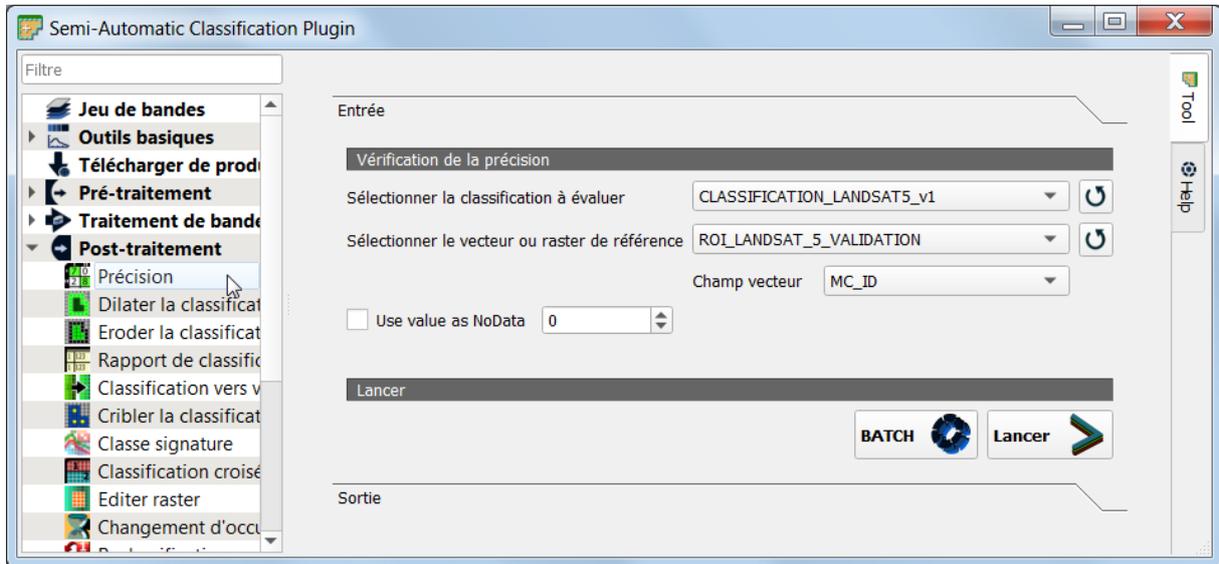


Figure 163 : Paramétrage de la création de la matrice de confusion

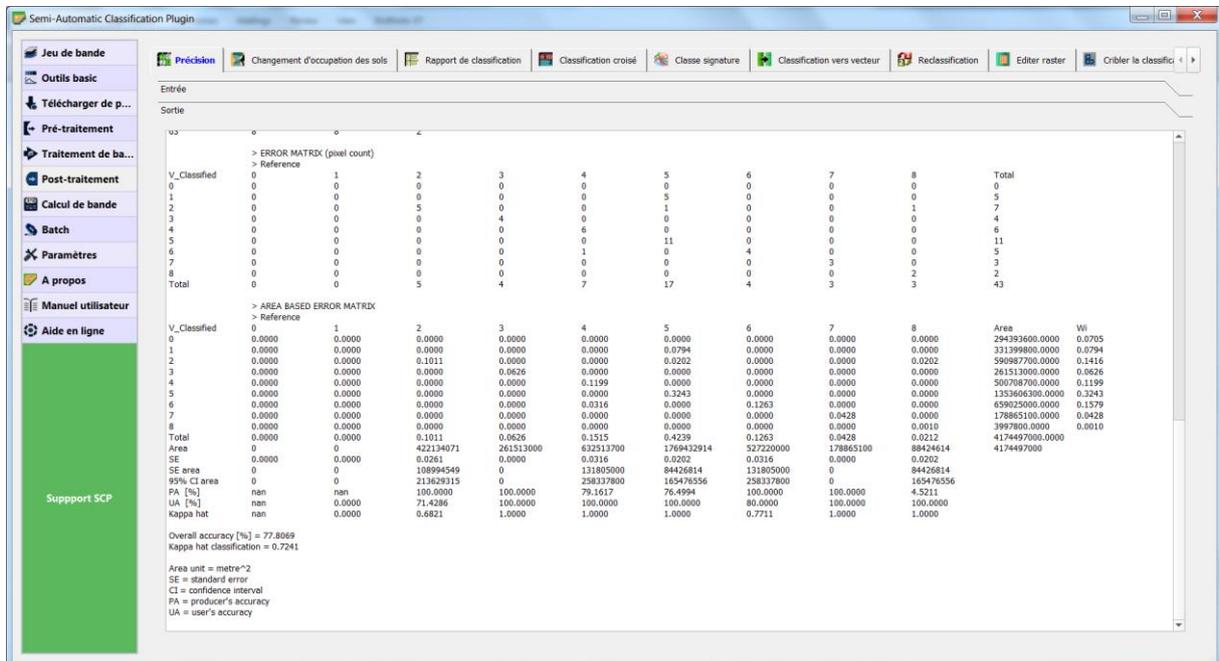


Figure 164 : Matrice de confusion produite et les statistiques dérivées. (Remarque : cette matrice de confusion n'a pas été créée avec un N (nombre de points de validation théorique total (confer section 8.11.2.3)) = 100 mais avec un N = 50 lors d'un essai préalable. Normalement un N = 100 aurait dû être utilisé pour cette illustration pour être raccord avec le reste des explications). (Ancienne interface de SCP)

La matrice exprimée en « **pixel count** », c'est-à-dire en nombre pixels, est plus facilement interprétable pour une première approche.

La matrice « **area based error matrix** » est exprimée en pourcentage de la surface totale de l'image classifiée et c'est cette matrice qui est utilisée pour dériver les paramètres d'évaluation de la précision de la classification dans SCP. Quelques informations sont disponibles à ce propos dans la documentation officielle en ligne.

La manière d'interpréter une matrice de confusion est présentée en détails dans la section suivante 8.11.2.7 page 280.

### 8.11.2.7. Matrice de confusion : construction et interprétation, un exemple illustré

Considérons une image satellite couvrant une zone d'étude caractérisée par 3 types d'occupation du sol à identifier par classification:

- Eau (rivière, étang)
- Prairie
- Forêt

L'image est classifiée et des **zones de validation** (ou « Ground truth Region Of Interest ») sont créées pour chacune des classes d'occupation du sol (Figure 165). Ces zones correspondent à des régions pour lesquelles l'occupation du sol est connue avec certitude, soit via photo-interprétation, soit via enquête de terrain avec relevés GPS par exemple. La précision de la classification de l'ensemble de l'image est ensuite évaluée en comparant, dans ces zones de validation, l'occupation du sol réelle (définie par l'opérateur) avec celle identifiée par le processus de classification.

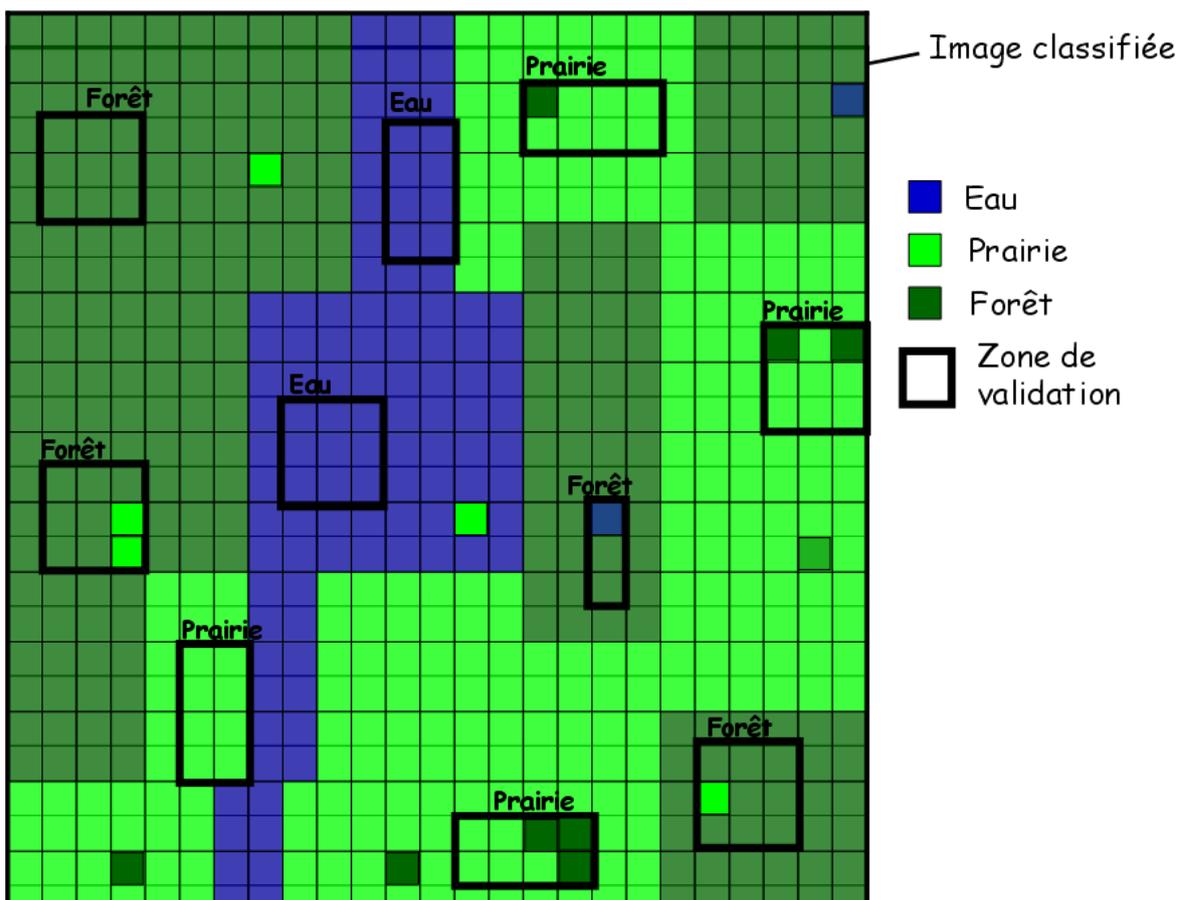


Figure 165 : Image classifiée de la zone d'étude. Les encadrés noirs correspondent aux zones de validation ou « Ground truth Region Of Interest ». Les classes auxquelles sont assignées chacune de ces zones de validation sont mentionnées au-dessus des encadrés.

La **matrice de confusion** (ou « table de contingence ») (Figure 166) permet d'évaluer la précision de la classification (de manière globale et pour chacune des classes). Elle est calculée à partir des pixels correctement/incorrectement classifiés dans les zones de validation mais est sensée être représentative de la précision de la classification de l'ensemble de l'image. D'où l'importance de créer suffisamment de zones de validation, correctement réparties sur l'ensemble de l'image, et reprenant l'ensemble des réalités spectrales de chacune des classes de l'image (exemple : créer des zones de validation de la classe forêt dans les différents massifs forestiers de l'image qui présentent probablement de petites nuances spectrales (variation de l'exposition, des essences, de l'ensoleillement, etc)).

Les zones utilisées pour la validation sont :

- 2 zones de validation pour la classe « **Eau** », composées de 17 pixels au total
- 4 zones de validation pour la classe « **Prairie** », composées de 33 pixels au total
- 4 zones de validation pour la classe « **Forêt** », composées de 30 pixels au total

La matrice de confusion associée à cette classification est reprise à la Figure 166.

		Zones de validation					
		Eau	Prairie	Forêt	Total	Erreurs de commission	Précision d'utilisation
Classification	Eau	17	0	1	18	1/18 (6%)	17/18 (94%)
	Prairie	0	27	3	30	3/30 (10%)	27/30 (90%)
	Forêt	0	6	26	32	6/32 (19%)	26/32 (81%)
	Total	17	33	30	80		
	Erreurs d'omission	0/17 (0%)	6/33 (18%)	4/30 (13%)		Erreur globale : 10/80 (12,5%)	
	Précision de production	17/17 (100%)	27/33 (82%)	26/30 (87%)			Précision globale : 70/80 (87,5%)

**Figure 166 : Matrice de confusion associée à la classification de la Figure 165.**

La structure (dans cet exemple-ci) de la matrice de confusion est la suivante :

- Une **colonne** de la matrice fait référence aux zones de validation de la classe identifiée par cette colonne et permet de calculer l'erreur d'omission de cette classe
- Une **ligne** de la matrice fait référence aux pixels classifiés dans la classe identifiée par cette ligne (dans les zones de validation de l'ensemble des classes) et permet de calculer l'erreur de commission de cette classe
- La **diagonale** de la matrice de confusion représente tous les pixels correctement classifiés : pixels déclarés (par la création des zones de validation) comme appartenant à une classe et classifiés par le logiciel dans cette classe
- La somme des totaux par lignes ou par colonnes correspondent à la somme des pixels de l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes.

**Les erreurs d'omission :**

L'erreur d'omission d'une classe donnée est calculée en divisant le nombre total de **pixels incorrectement classifiés** dans les zones de validation **de cette classe** (« omis » de la classe étudiée) par le nombre total de pixels des zones de validation de cette classe. Dans la matrice de confusion, ce calcul s'effectue sur base de la **colonne** correspondant à la classe étudiée.

- « **Eau** » : 0 pixel n'ont été mal classifiés sur les 17 pixels des zones de validation de la classe « Eau », soit  $0/17 = 0\%$  d'erreur d'omission (0% des pixels des zones de validation de la classe « Eau » n'ont été omis de la classe « Eau »)
- « **Prairie** » : 6 pixel ont été mal classifiés (dans la classe « Forêt ») sur les 33 pixels des zones de validation de la classe « Prairie », soit  $6/33 = 18\%$  d'erreur d'omission (18% des pixels des zones de validation de la classe « Prairie » ont été omis de la classe « Prairie » (et classifié dans la classe « Forêt ») alors qu'ils auraient du être classifiés dans la classe « Prairie »)
- « **Forêt** » : 4 pixel ont été mal classifiés (dans les classes « Eau » et « Prairie») sur les 30 pixels des zones de validation de la classe « Forêt », soit  $4/30 = 13\%$  d'erreur d'omission (13% des pixels des zones de validation de la classe « Forêt » ont été omis de la classe « Forêt » (et classifié dans les classes « Eau » et « Prairie») alors qu'ils auraient du être classifiés dans la classe « Forêt »)

**Les précisions de production :**

La précision de production d'une classe donnée est calculée en divisant le nombre total de **pixels correctement classifiés dans les zones de validation de cette classe** par le nombre total de pixels des zones de validation de cette classe. Elle est égale à (1-l'erreur d'omission).

La précision de production mesure la probabilité que le processus de classification ait classifié un pixel se trouvant dans une zone de validation d'une certaine classe dans cette classe.

Autrement dit :

Probabilité qu'un pixel qui appartient réellement (dans le monde réel) à une classe « a » ait été classifié dans cette classe « a ».

Autrement dit :

*« En tant que producteur d'une classification (celui qui réalise la classification), je me demande, pour un pixel appartenant réellement à la classe « a » (dans le monde réel), quelle est la probabilité qu'il ait été classifié dans la classe « a » ? »*

**Les erreurs de commission :**

L'erreur de commission d'une classe donnée est calculée en divisant le nombre total de pixels incorrectement classifiés dans cette classe dans les zones de validation des **autres classes** (erreur « commise dans les autres classes ») par le nombre total de pixels classifiés dans cette classe sur l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes. Dans la matrice de confusion, ce calcul s'effectue sur base de la **ligne** correspondant à la classe étudiée.

- « **Eau** » : 1 pixel a été mal classifié (en tant que « Eau ») alors qu'il appartient (d'après les zones de validation) à d'autres classes (ici, la classe « Forêt »), sur un total de 18 pixels classifiés dans la classe « Eau » dans l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes, soit  $1/18 = 6\%$  d'erreur de commission (6% des pixels classifiés dans la classe « Eau » appartiennent en réalité à d'autres classes (ici la classe « Forêt »))

- « **Prairie** » : 3 pixels ont été mal classifiés (en tant que « Prairie ») alors qu'ils appartiennent (d'après les zones de validation) à d'autres classes (ici, la classe « Forêt »), sur un total de 30 pixels classifiés dans la classe « Prairie » dans l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes, soit  $3/30 = 10\%$  d'erreur de commission (10% des pixels classifiés dans la classe « Prairie » appartiennent en réalité à d'autres classes (ici la classe « Forêt »))
- « **Forêt** » : 6 pixels ont été mal classifiés (en tant que « Forêt ») alors qu'il appartiennent (d'après les zones de validation) à d'autres classes (ici, la classe « Prairie »), sur un total de 32 pixels classifiés dans la classe « Forêt » dans l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes, soit  $6/32 = 19\%$  d'erreur de commission (19% des pixels classifiés dans la classe « Forêt » appartiennent en réalité à d'autres classes (ici la classe « Prairie »))

#### Les précisions d'utilisation :

La précision d'utilisation d'une classe donnée est calculée en divisant le nombre total de **pixels correctement classifiés** dans cette classe **dans l'ensemble des zones de validation de cette classe** par le nombre total de pixels classifiés dans cette classe dans l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes. Elle est égale à (1-l'erreur de commission).

La précision d'utilisation mesure la probabilité qu'un pixel appartienne réellement à une certaine classe lorsque le processus de classification a classifié ce pixel dans cette classe.

Autrement dit :

Probabilité qu'un pixel qui a été classifié dans une classe « a » appartienne réellement (dans le monde réel) à cette classe « a ».

Autrement dit :

*« En tant qu'utilisateur d'une classification (celui qui lit/utilise la classification), je me demande, pour un pixel classifié dans une classe « a », quelle est la probabilité qu'il appartienne réellement (dans le monde réel) à la classe « a ». »*

#### Erreur globale de la classification :

L'erreur globale de la classification est calculée en divisant le nombre de pixels **mal classifiés** dans l'ensemble des zones de validations de l'ensemble des classes par le nombre de pixels de l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes. L'erreur globale = (1-la précision globale).

- Erreur globale : 10 pixels mal classifiés dans l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes divisé par les 80 pixels de l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes = 12.5 % d'erreur globale.

#### Précision globale de la classification :

La précision globale de la classification est calculée en divisant le nombre de pixels **correctement classifiés** dans l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes par l'ensemble des pixels de l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes.

- Précision globale : 70 pixels correctement classifiés dans l'ensemble des zones de validations de l'ensemble des classes divisé par les 80 pixels de l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes = 87.5 % de précision globale. La précision globale = (1- l'erreur globale)

Plus d'infos sur les matrices de confusion : Centre Canadien de télédétection

[http://cct.rncan.gc.ca/glossary/index\\_f.php?id=3124](http://cct.rncan.gc.ca/glossary/index_f.php?id=3124)

## 8.12. Matrice de transition

### 8.12.1. Définition de la matrice de transition

Une matrice de transition permet de mettre en évidence quantitativement, en termes de superficies, l'évolution de l'occupation du sol à partir de 2 images classifiées pour chaque combinaison possible de 2 classes.

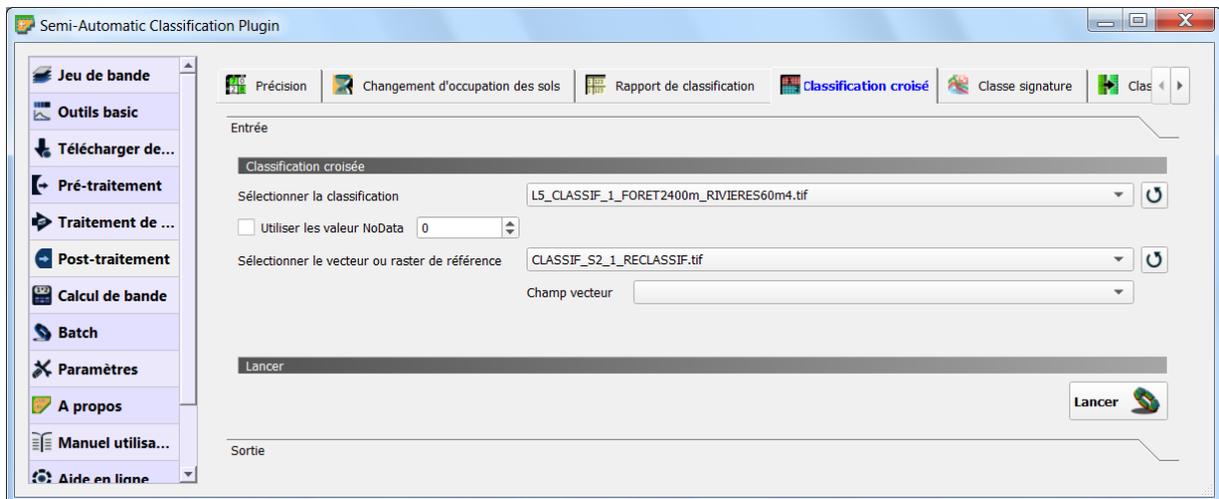
### 8.12.2. Création de la matrice de transition

- SCP > Post-traitement > Classification croisée

(Remarque : le menu SCP > Post-traitement > Changement d'occupation des sols produit les mêmes résultats mais moins bien présentés, sans matrice)

Les sorties sont :

- Une matrice de transition
- Une image de changement dont les valeurs de pixels correspondent à un code identifiant une des combinaisons possibles de changement d'une classe à l'autre



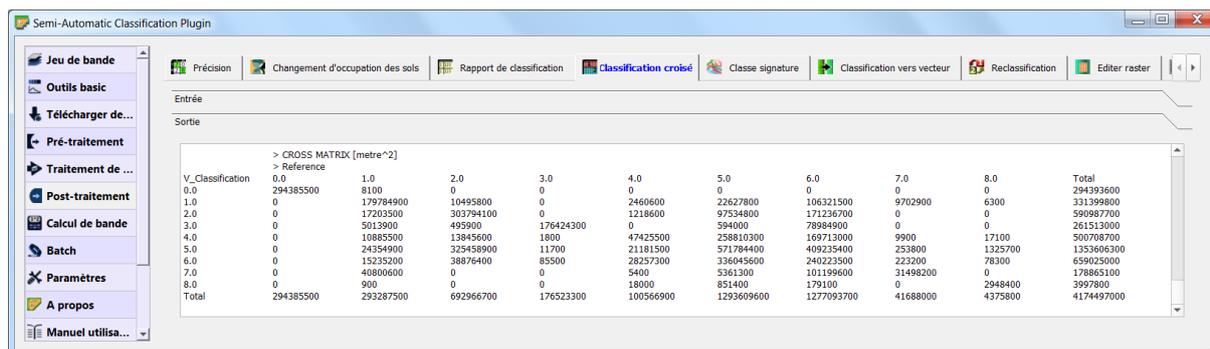


Figure 167 : Matrice de transition entre les images Landsat-5 et Sentinel-2 (ancienne interface de SCP)

### 8.12.3. Interprétation de la matrice de transition

Il est également important de noter que sur une période aussi longue que sur la période considérée dans cet exercice, soit +/- 20 ans, il y a certainement eu des changements d'occupation du sol importants intermédiaires qui ne seront évidemment pas mis en évidence par l'analyse diachronique basée sur 2 dates seulement. Il faut donc être conscient que la représentation de la dynamique de l'occupation du sol dans la région étudiée est représentée de manière limitée, limitée aux 2 images utilisées. En 20 ans on pourrait très bien imaginer qu'une forêt adulte ait été mise à blanc juste après l'acquisition de la première image et qu'une jeune forêt ait eu le temps de repousser suffisamment que pour que cette jeune forêt ne soit pas spectralement distinguable d'une forêt adulte. Dès lors, la matrice de transition ne pourra pas mettre en évidence cette dynamique « cachée ».

### 8.12.4. Mise en relation des précisions de classification et de l'ampleur des changements détectés

Il peut être intéressant de nuancer l'ampleur des changements/évolutions détectés pour chacune des classes en fonction de leur précision de classification dans chacune des 2 images comparées. Par exemple, comment interpréter une faible variation de superficie d'une classe pour laquelle une imprécision de classification relativement importante est observée. Le changement observé est-il réellement significatif ou bien est-il du uniquement ou en grande partie à une imprécision de classification dans l'une ou les deux images ?

## 8.13. Graphiques exprimant l'évolution de l'occupation du sol

2 types de graphiques sont typiquement utilisés pour représenter les résultats issus d'une analyse diachronique de l'occupation du sol d'une région.

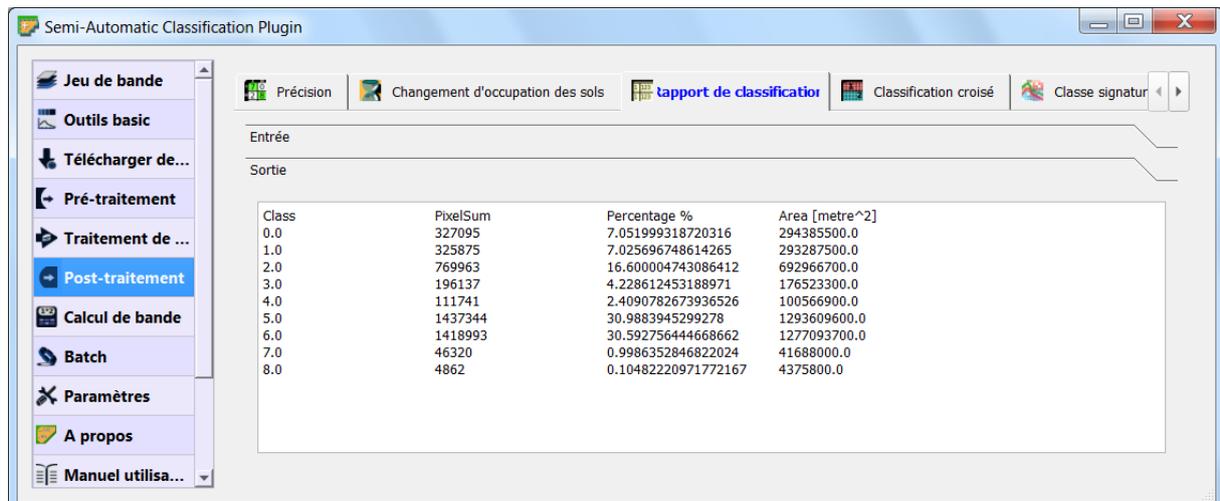
Ces graphiques peuvent facilement être réalisés à partir des résultats du menu :

- **SCP > Post-traitement > Rapport de classification**

Les fichiers CSV pourront être éventuellement édité/remanié et les graphiques réalisés :

- Dans QGIS : avec le plugin Dataplotly (un peu limité)
- Dans MS-Excel ou OpenOffice-Calc (<https://www.openoffice.org/fr/Produits/>) (plus de possibilités)

La **feuille Excel** utilisée pour produire les graphiques ci-dessous est fournie dans le répertoire « ... \5\_CLASSIFICATION\_SUPERVISEE\_ANALYSE\_DIACHRONIQUE\DATA\GRAPHIQUES DE TRANSITION.xlsx »



Class	PixelSum	Percentage %	Area [metre^2]
0.0	327095	7.051999318720316	294385500.0
1.0	325875	7.025696748614265	293287500.0
2.0	769963	16.600004743086412	692966700.0
3.0	196137	4.228612453188971	176523300.0
4.0	111741	2.4090782673936526	100566900.0
5.0	1437344	30.9883945299278	1293609600.0
6.0	1418993	30.592756444668662	1277093700.0
7.0	46320	0.9986352846822024	41688000.0
8.0	4862	0.10482220971772167	4375800.0

### 8.13.1. Histogramme par classe

Double bâtonnet pour chaque classe.

Idéalement une barre d'erreur devrait accompagner chaque bâtonnet.

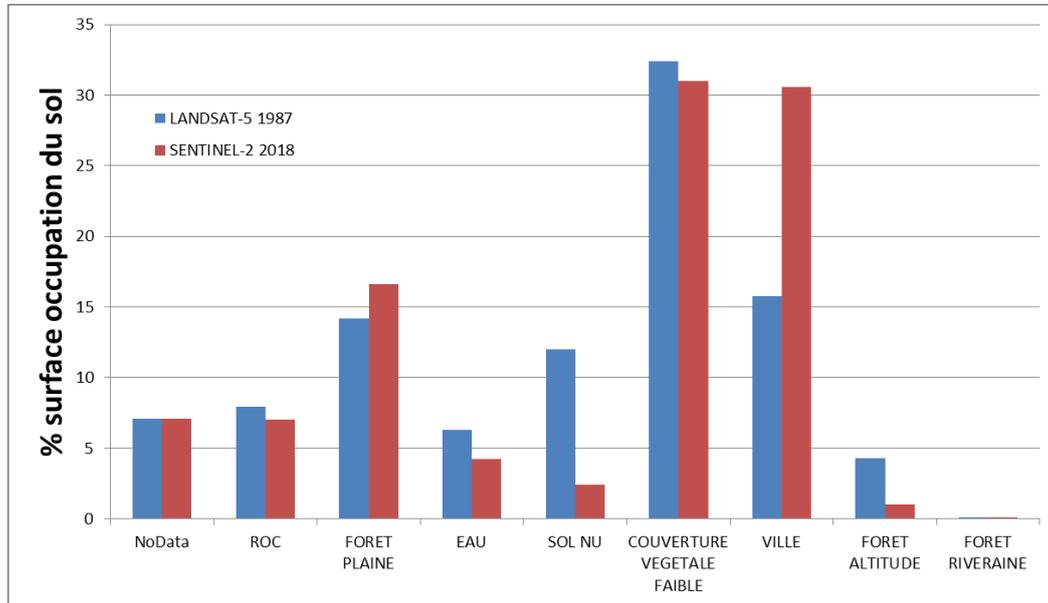


Figure 168 : Graphique de type histogramme qui permet de comparer l'évolution des pourcentages de la superficie totale de la zone d'étude des différentes classes d'occupation du sol entre 2 dates.

### 8.13.2. Camembert par classe

Idéalement une information sur l'erreur devrait accompagner chaque valeur.

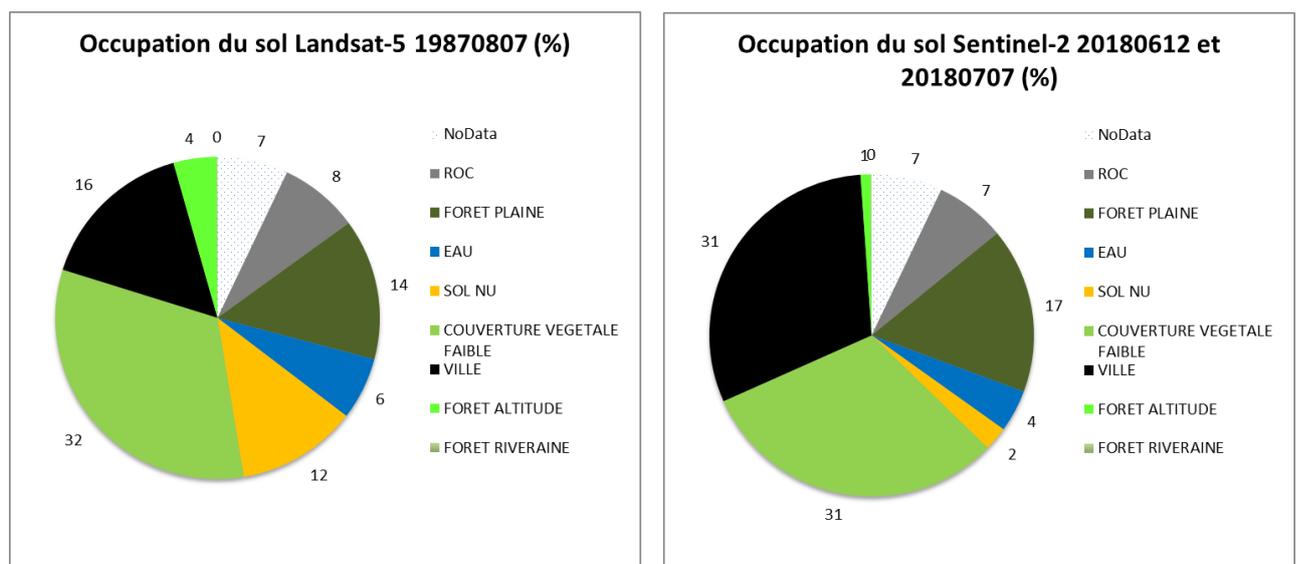


Figure 169 : Graphique de type camembert qui permet de comparer l'évolution des pourcentages de la superficie totale de la zone d'étude des différentes classes d'occupation du sol entre 2 dates.

## 8.14. Réalisation de cartes d'occupation du sol - Mise en page cartographique

Les images classifiées, ayant subi éventuellement l'un ou l'autre post-traitement, pourront ensuite faire l'objet d'une mise en page cartographique si celles-ci doivent être présentées dans un rapport par exemple.

La mise en page cartographique consiste en l'habillage des images classifiées à l'aide d'une série d'éléments tels légende, barre d'échelle, flèche du Nord, graticule de géoréférencement, carte de localisation ou rectangle d'emprise et éléments textuels tels titre, auteur, date de création de la carte, système de coordonnées, source et date des données, etc

L'interface de mise en page cartographique d'un projet QGIS est accessible via le menu :

- **Projet > Nouvelle mise en page... > Créer un titre de mise en page**

Pour plus d'information et indications sur la mise en page cartographique, le lecteur est invité à consulter

- **la section « Edition cartographique » du manuel de travaux pratiques dans QGIS disponible ici <https://orbi.uliege.be/handle/2268/190559>.**

Lors de l'insertion des **cartes** issues de l'analyse diachronique dans un **rapport**, veiller à ce que:

- Vos cartes soient de **bonne résolution et parfaitement lisibles** (qualité de l'image)
- Vos cartes soient suffisamment **grandes** : n'hésitez pas à utiliser **une page entière par carte**
- Vos cartes soient facilement comparables visuellement en vous assurant, dans le cas où une carte est représentée par page, qu'elles apparaîtront sur **2 pages en vis-à-vis** dans votre document.

## 8.15. Discussion et limitations de l'approche

Quelques éléments importants sont brièvement repris ci-dessous :

- Les **difficultés de photo-interprétation** peuvent déboucher sur des erreurs de classification et de validation. En particulier, certains **pixels mixtes ou « mixel »** peuvent être difficilement photo-interprétables et constituer de facto une limitation dans la possibilité de classification
- Gardez à l'esprit qu'il est très important que les **zones de validation soient représentatives de chacune des classes d'occupation** du sol afin que la matrice de confusion soit effectivement représentative de la précision de classification réellement obtenue sur l'ensemble de l'image classifiée.
- Les **masques de nuages** ne sont pas toujours évidents à réaliser (bordures de nuages, petits nuages, voiles nuageux, etc) ce qui peut induire des erreurs de classification

## 9. Analyse de données SAR SENTINEL-1 (télédétection active) pour la cartographie d'inondation dans SNAP (en anglais)

<p><b>Objectifs pédagogiques</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se familiariser à l'utilisation du <b>logiciel SNAP</b>, logiciel de référence de l'Agence Spatiale Européenne (ESA - European Space Agency) pour le traitement des données issues de la constellation de satellites « Sentinel »</li> <li>• Découvrir quelques <b>traitements spécifiques</b> aux données de type <b>RADAR</b></li> <li>• Utiliser des données <b>RADAR</b> (télédétection active) multi-dates pour <b>cartographier une inondation</b></li> </ul>
<p><b>Données</b></p>	<p>Les données nécessaires consistent simplement en <b>2 images Sentinel-1</b> (~ 1.09 GB). Pour vous les procurer :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soit téléchargez ces 2 images directement à partir du site web de référence comme indiqué dans la <b>section « 9.4 Download of the 2 Sentinel-1 images (not in the video) » page 293</b> de ce manuel (conseillé)</li> <li>• Soit, si cela ne fonctionne pas, téléchargez ces 2 images à partir d'ORBI (<a href="https://orbi.uliege.be/handle/2268/240835">https://orbi.uliege.be/handle/2268/240835</a>) en sélectionnant le dossier « \6_SAR_INONDATIONS\MYANMAR_SENTINEL1_SNAP\...»</li> </ul> <p>Placez les images téléchargées ou le dossier « 6_SAR_INONDATIONS.zip » dans votre répertoire de travail, et décompressez ce dossier si vous l'avez téléchargé. ATTENTION ! Voyez la section 1.2 page 19 pour plus d'information sur l'accès aux données.</p>
<p><b>Logiciel ou application</b></p>	<p><b>SNAP</b> (<a href="https://step.esa.int/main/download/snap-download/">https://step.esa.int/main/download/snap-download/</a>)  <b>ATTENTION !</b> Le logiciel SNAP de l'ESA, gratuit, nécessite pour certaines opérations une certaine « puissance » de l'ordinateur que nombres « d'ordinateurs étudiants » n'ont pas, ce qui résulte parfois en des temps de traitements à rallonge, voire des bugs.</p>
<p><b>Temps approximatif</b></p>	<p>~ 1h30 à 2h00</p>

<b>Prérequis</b>	Aucun. Cependant, certaines connaissances théoriques préalables sur la télédétection RADAR permettront à l'apprenant de mieux comprendre les manipulations réalisées.
------------------	---

# Télédétection active, RADAR, SAR, Sentinel 1, SNAP

## 9.1. Tutoriel source: “ESA Echoes in Space - Hazard: Flood mapping with Sentinel-1 (ESA EO College)”

Cette section se base sur le tutoriel vidéo (chaîne YouTube “EO College”) intitulé « **ESA Echoes in Space - Hazard: Flood mapping with Sentinel-1 (ESA EO College)** » du 5 novembre 2017 dans lequel Dr. Chris Stewart explique comment dériver une carte d'inondation (flood map) à partir de 2 images Sentinel-1 en utilisant le logiciel gratuit de l'ESA « SNAP ». Ce tutoriel vidéo est disponible ici :

- <https://www.youtube.com/watch?v=derOXkPCH80>

Cette section propose une transcription adaptée de la vidéo, augmentée de quelques commentaires et illustrations supplémentaires (aussi disponible ici : <https://orbi.uliege.be/handle/2268/240620>)

## 9.2. Objective (video timing: 0 min 00 sec)

- To map flooded area with Sentinel-1 data by a simple technique: using an image before the flood (called the “Archive image”) and an image during the flood (called the “Crisis image”) to distinguish between:
  - Flooded area
  - Permanent water bodies

## 9.3. Technical description of the 2 Sentinel-1 images used

- 2 Sentinel-1 images over a part of Myanmar, with the following technical features:
  - **Remarque**
    - The **filename conventions** of Sentinel products are available here : <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/naming-conventions>
  - **Pass ascending**
    - Part of the satellite orbit trajectory going from **South to North poles**, information available in the Metadata, confer Figure 175 page 298

- **Mode VV**
  - Polarization mode of the SAR signal: **Vertical emitted by the sensor and Vertically received by the sensor**
- **Sensor mode IW**
  - **Interferometric Wide acquisition mode** (Figure 170): confer here for more information: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/acquisition-modes>
- **Product type GRD**
  - **Ground Range Detected**
  - More information here: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-products>
  - Remarque: in GRDH (confer image filename), the H stands for the resolution class, which is High (H) in this case)

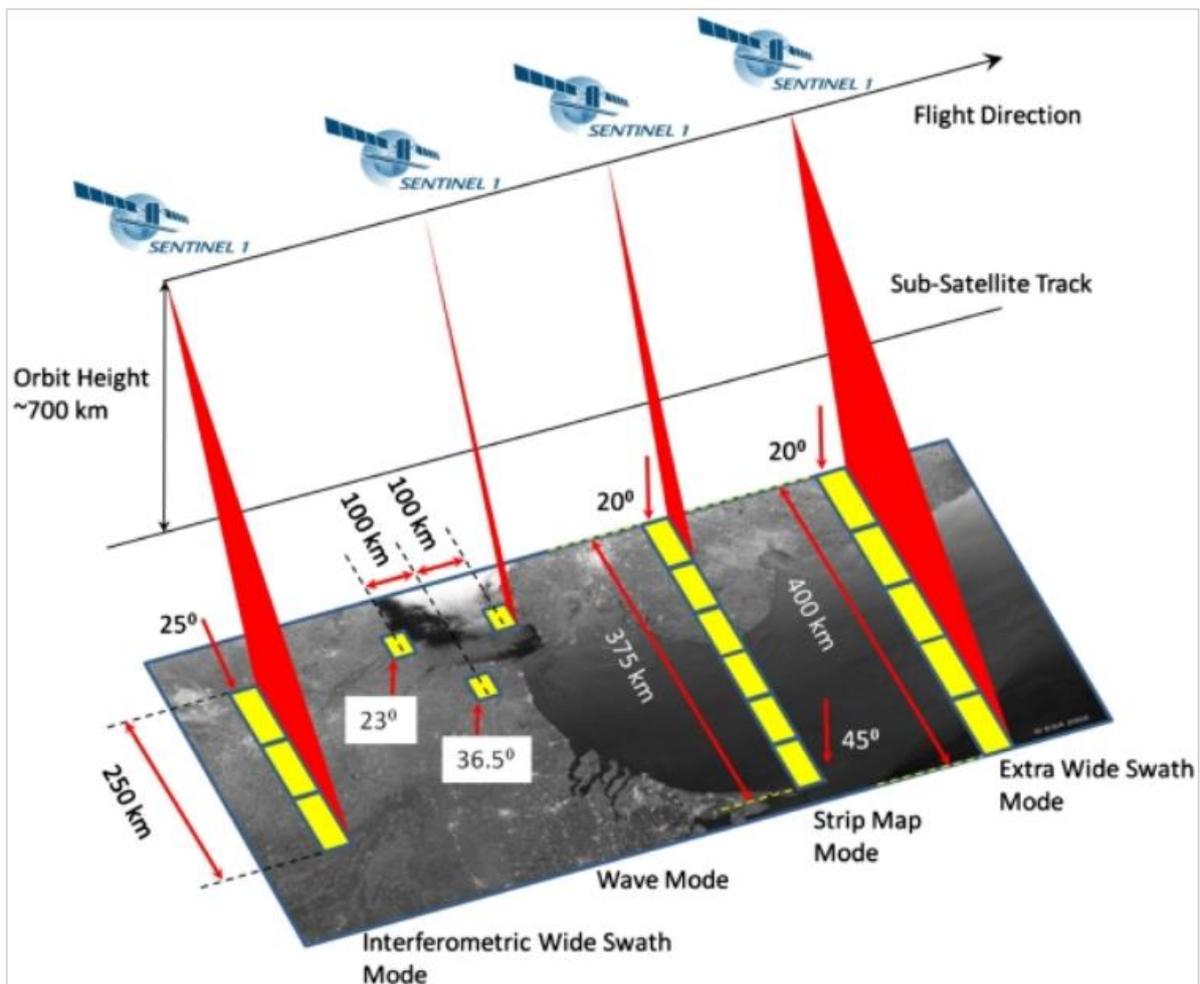


Figure 170 : Sentinel-1 Product Modes (Source : <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/acquisition-modes>)

## 9.4. Download of the 2 Sentinel-1 images (not in the video)

- Go to the “Copernicus Open Access Hub” <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- Create an account and then log in
- Search and download the 2 images
  - You can use the image name (confer below) without “.zip” extension in the search menu to easily find the images, one by one (Figure 171)
  - The 2 images used are (table below):

Image timing	Date	Image filename
Archive image before the flood	2015 03 20	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150320T114745_20150320T114810_005115_0066FA_82D7.zip
Crisis image during the flood	2015 09 04	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150904T114747_20150904T114812_007565_00A772_B9FD.zip

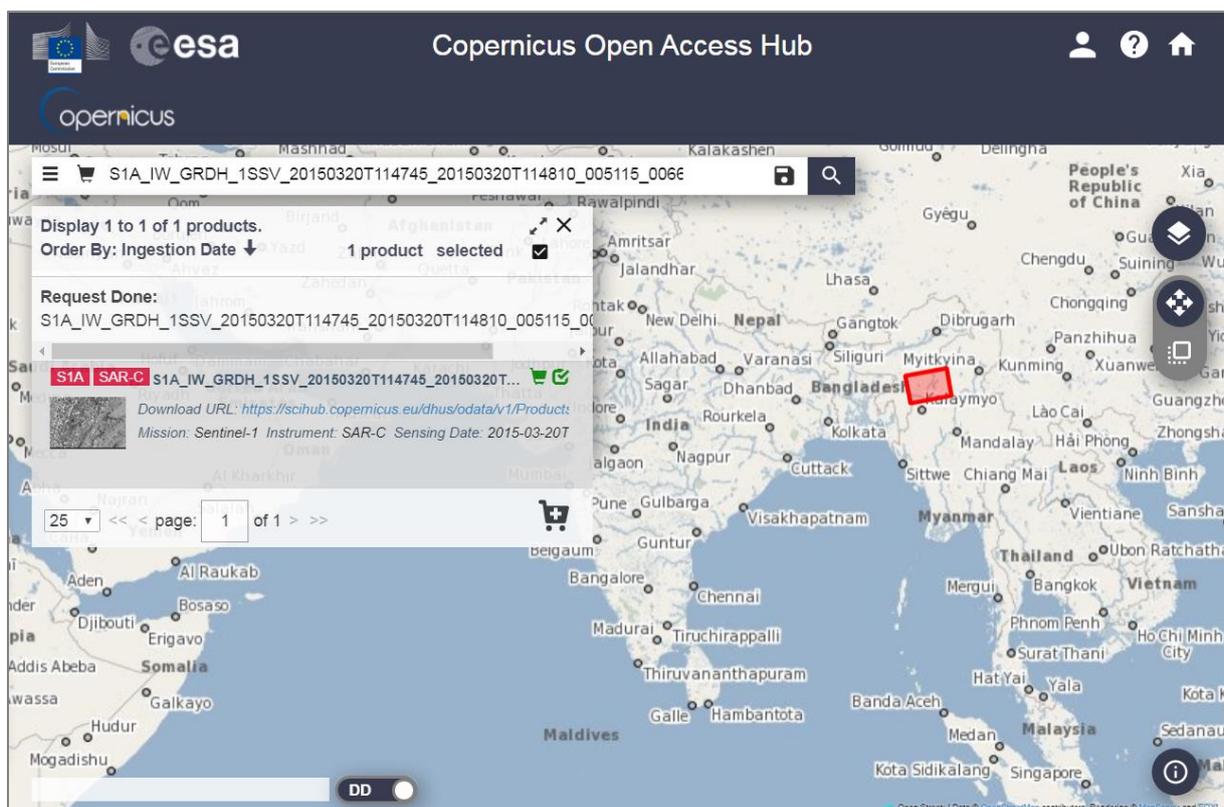


Figure 171 : Copernicus Open Access Hub with one of the 2 Sentinel-1 images identified over Myanmar

## 9.5. SNAP software - Download and installation (not in the video)

- You can **download the free SNAP software** here:
  - <https://step.esa.int/main/download/snap-download/>
  - Choose the « Sentinel Toolboxes » or “All Toolboxes” in the table and the download adapted to your operating system
- **Install SNAP** on your computer and make the updates after installation

The screenshot shows the SNAP (STEP) software download web page. The page has a dark blue header with the 'step' logo and 'science toolbox exploitation platform' text, alongside the ESA logo. A navigation menu includes 'ESA', 'STEP', 'TOOLBOXES', 'DOWNLOAD', 'GALLERY', 'DOCUMENTATION', 'COMMUNITY', and 'THIRD PARTY PLUGINS'. The 'DOWNLOAD' tab is active. The main content area is titled 'SNAP Download' and contains text about downloading the latest installers, a link to the Sentinel Data Hub, and the current version (7.0.0). It also provides release notes for various projects and instructions on choosing installers. A sidebar on the left lists various toolboxes and links. The right sidebar features a search bar, the 'seom' logo, and promotional banners for '2018 Mapping Urban Areas from Space' and 'EO Open Science 2018'.

Figure 172 : Outlook of the SNAP (STEP) software download web page

## 9.6. Opening of the 2 Sentinel-1 images in SNAP (video timing: 0 min 30 sec)

- Simply **drag and drop the zip images to the “Product Explorer” tab of SNAP** (there is no need to unzip the images!)
- In the “World View” tab, you can see that the images are over a part of Myanmar
- In the “Product Explorer” tab, expand for each image the **sub-folder “Bands > Amplitude\_VV”** and **double-click on “Amplitude\_VV”** which will open the images in the viewer
  - Open first the Archive image → in viewer 1
  - Open then the Crisis image → in viewer 2
- Remarque: notice that there are 2 bands per image, **Amplitude and Intensity**.

### Definition:

- **Amplitude\_VV image**
  - “A SAR signal contains **amplitude and phase** information. **Amplitude** is the strength of the radar response” (source: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/product-overview/interferometry>).
  - “Measure of the strength of a signal, and in particular the strength or **height of an electromagnetic wave** (units of voltage).” (source: <https://earth.esa.int/handbooks/asar/CNTR5-2.html>)
- **Intensity\_VV image**
  - $Intensity = Amplitude\_VV * Amplitude\_VV$
- Observe the images (Figure 174):
  - You can zoom or move into the images by using the mouse wheel or the panning tool 
  - In the crisis image:
    - **Flooded area**: appears darker because of a low backscatter due to specular reflection over the smooth water surfaces: the signal get reflected away from the sensor.
    - **The surrounding areas**: are much rougher and look brighter.
    - **Images distortion** is visible in the mountain areas of the image due to the **layover and foreshortening effects** (Figure 173)

**Foreshortening**

**Layover**

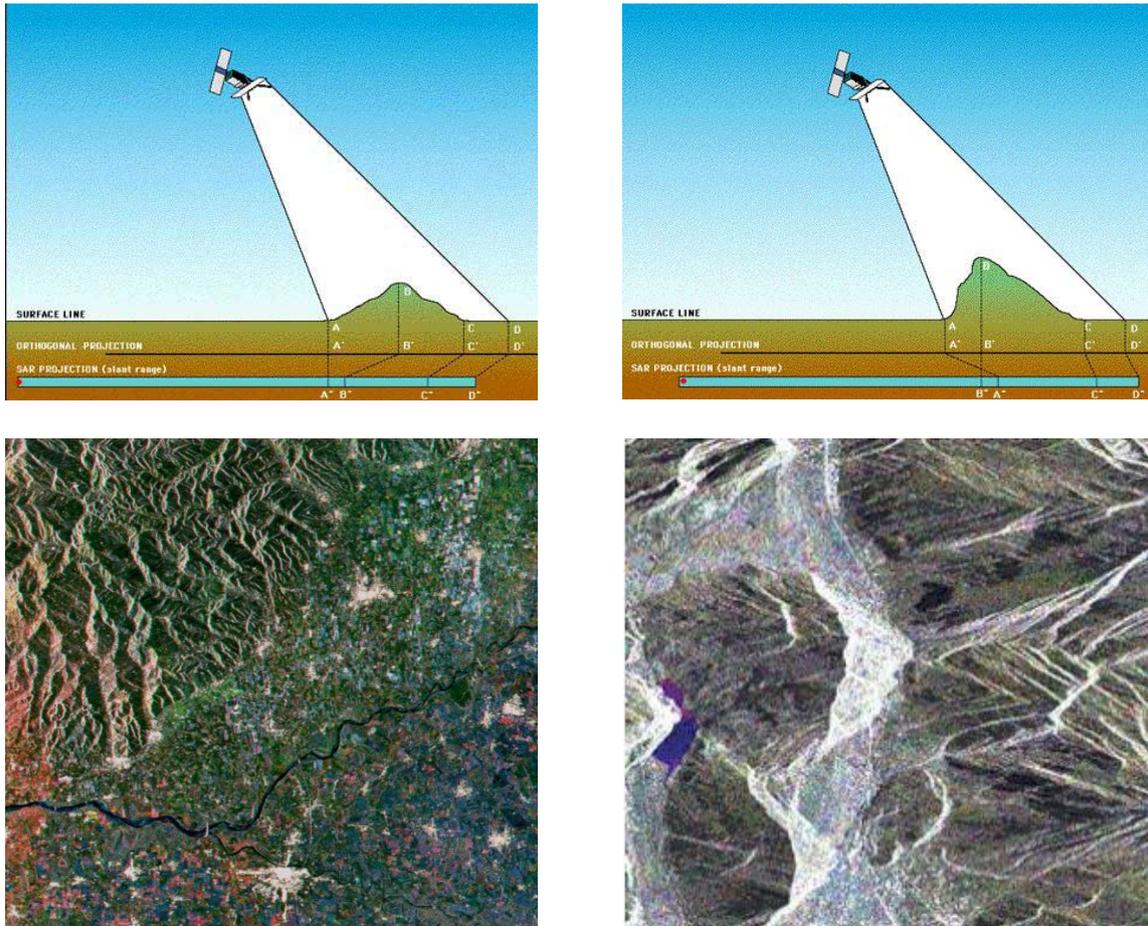


Figure 173: Illustration of the Foreshortening and Layover effects: geometric distortions in mountainous regions (Source: [https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/ers/instruments/sar/applications/radar-courses/content-2/-/asset\\_publisher/qIBc6NYRXfnG/content/radar-course-2-slant-range-ground-range#sixteen](https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/ers/instruments/sar/applications/radar-courses/content-2/-/asset_publisher/qIBc6NYRXfnG/content/radar-course-2-slant-range-ground-range#sixteen))

## 9.7. Main steps of the workflow described in this section (video timing: 2 min 18 sec)

- Make a **spatial subset** of the images around the river over the flooded areas
- Apply a **“multilooking”** in order to reduce the speckle, and this also reduces the dimension of the images and speed up the processing time
- Apply a **calibration** which is essential to compare 2 images: to go from Digital Numbers (DN) to a physical quantity which is in this case “sigma0 backscatter”
- Apply a **terrain correction** to project the images onto a map system and also to correct for the distortions due to the terrain
- Combine the **2 images in a RGB composite** in order to distinguish between flooded areas and permanent water bodies

## 9.8. Visual analysis of the 2 images side by side (video timing: 3 min 09 sec)

- **Menu: Window > Tile evenly**
- You should **synchronize the 2 windows** (and optionally the mouse pointer) by using, in the “Navigation” tab of the bottom left panel, the 2 related tools button

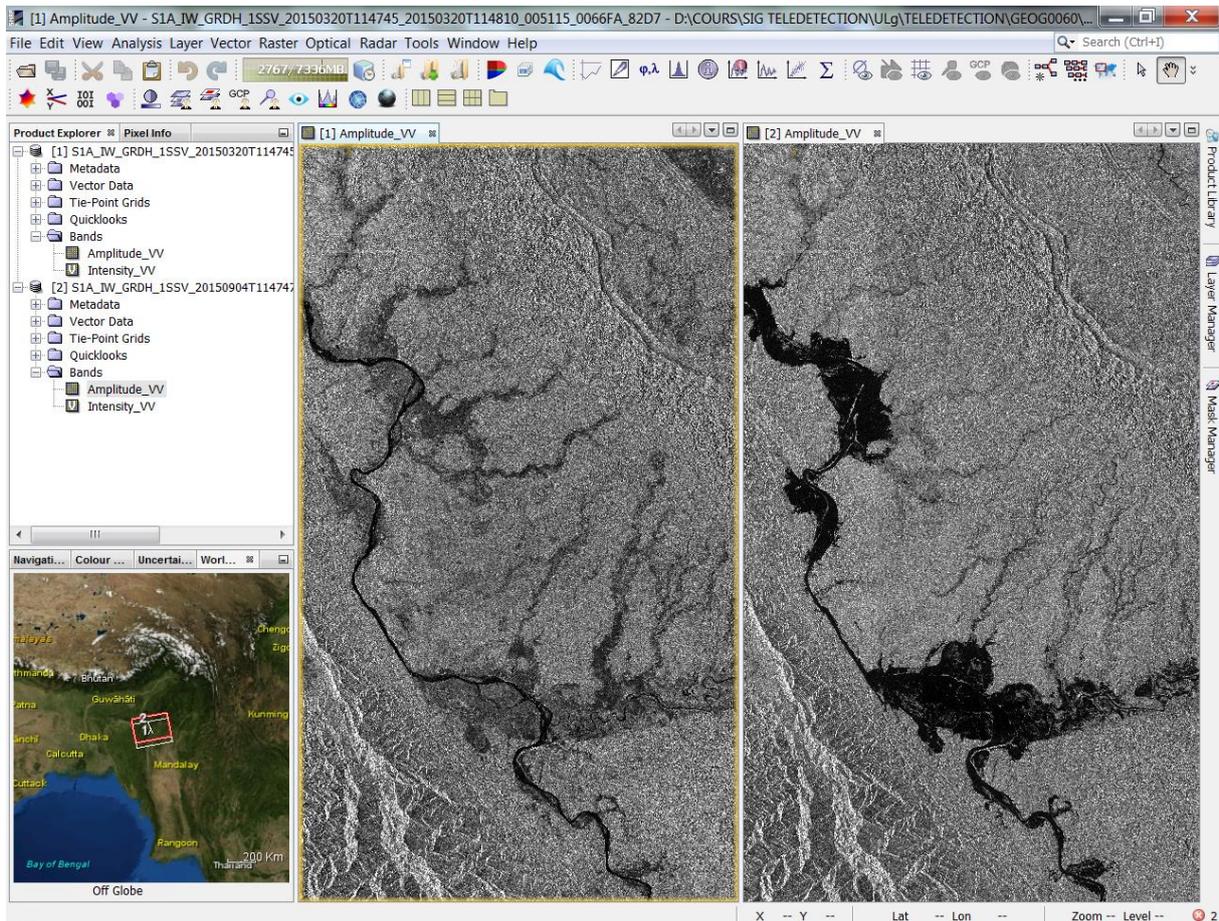


Figure 174 : The archive/normal situation (left) and crisis/flood (right) Sentinel-1 images over Myanmar displayed evenly in SNAP interface

## 9.9. Analysis of images Metadata (video timing: 3 min 15 sec)

- In the “Product Explorer” tab, open the subfolders “Metadata > Abstracted Metadata” and double-click on it to open it (Figure 175). You can see that:
  - Both images were acquired in the **same geometry** which is essential for flood mapping:
    - PASS = **ASCENDING**: satellite ascending
    - incidence\_near (30.9°) & incidence\_far (46.1°): **same incidence angle**
  - PRODUCT\_TYPE = **GRD**
  - ACQUISITION\_MODE = **IW**
  - mds1\_tx\_rx\_polar = **VV** (and no info for mds2..., mds3..., mds4...)
  - etc
- There is a **shift in Azimuth** (in the North-South direction, the 2 images do not perfectly cover the same area) but this is not a problem
- To know what image is open in what tab: look at the number between [] both in the “Product Explorer” tab and in the visualization windows

The screenshot shows the SNAP software interface. The Product Explorer on the left shows the tree structure for the selected image. The main window displays two satellite images. The Metadata table is open, showing the following data:

Name	Value	Type	Unit	Description
<b>Band_IW_VV</b>				
PRODUCT	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150320T11474	ascii		Product name
PRODUCT_TYPE	GRD	ascii		Product type
SPH_DESCRIPTOR	Sentinel-1 IW Level-1 GRD Product	ascii		Description
MISSION	SENTINEL-1A	ascii		Satellite mission
ACQUISITION_MODE	IW	ascii		Acquisition mode
antenna_pointing	right	ascii		Right or left facing
BEAMS	-	ascii		Beams used
SWATH	-	ascii		Swath name
PROC_TIME	20-MAR-2015 18:14:45.450487	uint32	utc	Processed time
Processing_system_identifier	Albus DS Sentinel-1 IPF 002.43	ascii		Processing system identifier
orbit_cycle	43	int32		Cycle
REL_ORBIT	143	int32		Track
ABS_ORBIT	5115	int32		Orbit
STATE_VECTOR_TIME	20-MAR-2015 11:47:43.382000	uint32	utc	Time of orbit state vector
VECTOR_SOURCE	-	ascii		State vector source
incidence_near	30.867084503173828	float64	deg	
incidence_far	46.08742904663086	float64	deg	
[...]				
PASS	ASCENDING	ascii		ASCENDING or DESCENDING
SAMPLE_TYPE	DETECTED	ascii		DETECTED or COMPLEX
mds1_tx_rx_polar	VV	ascii		Polarization
mds2_tx_rx_polar	-	ascii		Polarization
mds3_tx_rx_polar	-	ascii		Polarization
mds4_tx_rx_polar	-	ascii		Polarization
polsar_data	0	uint8	flag	Polarimetric Matrix
algorithm	-	ascii		Processing algorithm
azimuth_looks	1.0	float64		
range_looks	5.0	float64		
range_spacing	10.0	float64	m	Range sample spacing

Figure 175 : Outlook of some Abstracted Metadata of one Sentinel-1 image. The [...] means that some metadata are skipped from this illustration

## 9.10. Spatial subset of the images, on an area common to the 2 images, where the main floods occur (video timing: 3 min 53 sec)

- Identify in the navigation tab an **area which is common to both images**: zoom and pan in order to display that common area in the viewers (Figure 174)
- **Click**, in the geographical interface, on the image you want to process in order to select/active it, in order to use this image current extent for the spatial subset
- **Menu: Raster > Subset** (video timing: 4 min 03 sec)
  - The subset corresponds to the extent of the viewer. You can visually check that in the tool interface
  - Click OK
  - Repeat the operation for both images

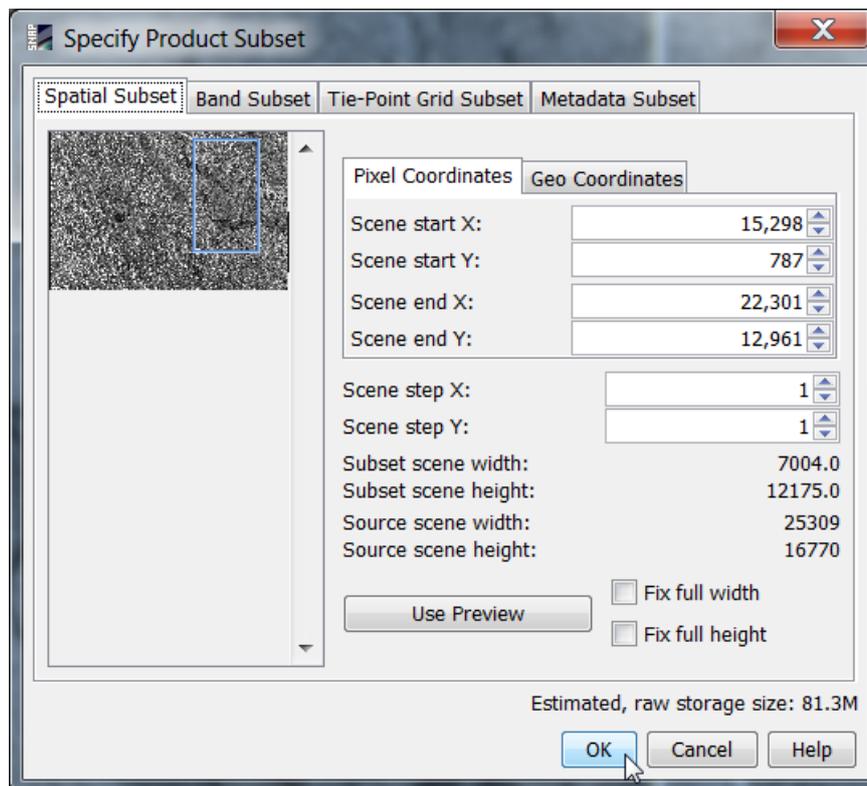


Figure 176 : Spatial subset of Sentinel-1 image

- The outputs appear automatically in the “Product Explorer” as virtual files/image.
- They then have to be **saved to real file (real image)** with either
  - Select the file in the “**Product Explorer**” tab, then **File > Save Product >**
    - or Right click on the file in the “Product Explorer” tab, then > Save Product
- Say **Yes to BEAM-DIMAP format**
- Give a **Shorter filename** than the original long filename:

- Keep the most important information: date product, processing level etc
- Remove the automatically created prefix (“subset\_0\_of\_”)
- And give also a **suffix “crop”** (or “subset”) in order to easily identify the output image as the subset image
- Select your working directory where to store the output images
- The **output filenames** of the 2 images are, in the video:
  - S1A\_IW\_GRDH\_1SSV\_20150320T114745\_crop.zip
  - S1A\_IW\_GRDH\_1SSV\_20150904T114747\_crop.zip
- Click on Save
- The **2 subseted images** are now present in you working directory



## 9.11. Intermediate steps: closing/opening images (video timing: 6 min 00 sec)

- Close all images in the “Product explorer” tab
  - Right click in the left panel > Close All Products
- Open only the 2 subset images in SNAP
  - Drag and drop them to the “Product explorer” tab from your working directory

## 9.12. Multilooking (video timing: 6 min 30 sec)

- **Purpose:** to reduce the speckle and reduce the dimension of the image to speed up the processing time. This will also result in a loss of accuracy (spatial resolution) but this is not a problem in this particular case because the flooded area is large and we are not particularly interested in having a high resolution flood map.
- **Menu: Radar > SAR Utilities > Multilooking** (this directory is a bit different than in the tutorial video due to different SNAP software versions) (Figure 177)
  - In the “I/O Parameters” window
    - Keep default added suffix “ML” in the output filename
    - Select your working directory as output directory
  - In the “Processing Parameters” window
    - Set the **Number of Range/Azimuth Looks to 3 by 3**
  - Click on Run
  - Repeat the process for the other image

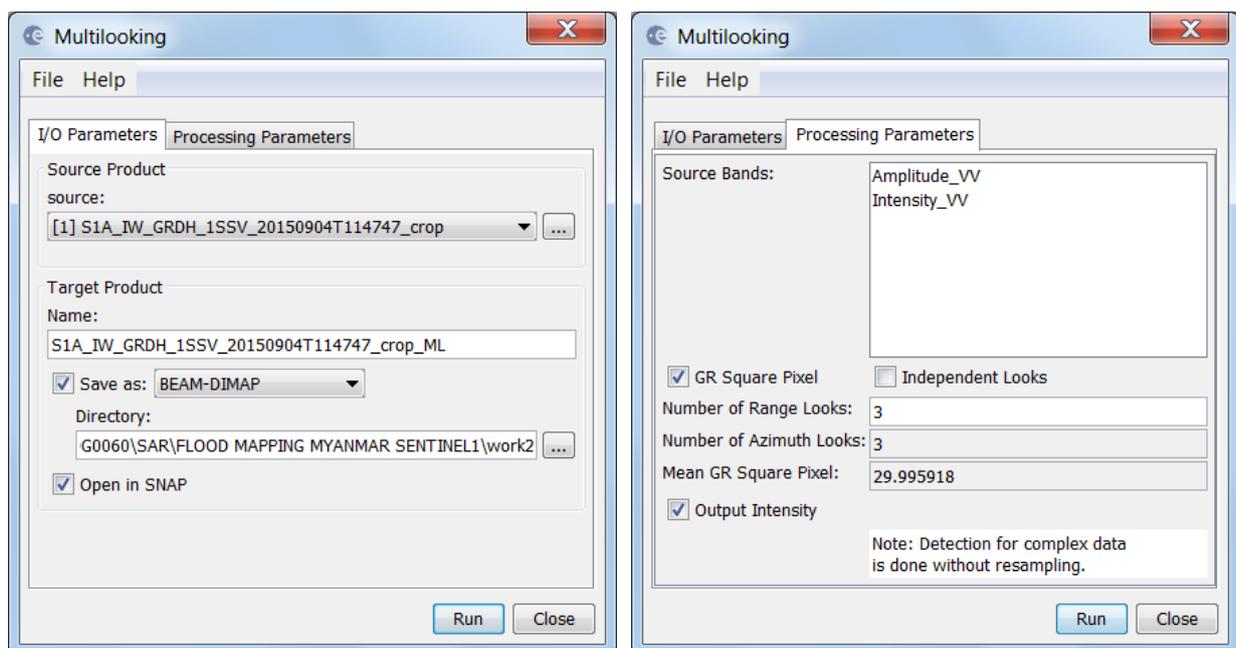


Figure 177 : Parametrization of the Multilooking tool of SNAP

- **(Remarque:** after this operation, the subseted images cannot be synchronized well with the original images because a size reduction has been applied, reason why all products were closed in the previous “intermediate steps”)

## 9.13. Radiometric Calibration (video timing: 7 min 35 sec)

- Calibration is essential to enable the comparison of the 2 images
- Calibration transforms Digital Numbers (DN) to a physical quantity which is in this case “**sigma0 backscatter**”
- **Definition:**
  - **“Backscatter:** [...] The normalised measure of the radar return from a distributed target is called the **backscatter coefficient**, or **sigma nought** , and is defined as per unit area on the ground.”
  - **“Sigma Nought:** Scattering coefficient, or the conventional measure of the strength of radar signals reflected by a distributed scatterer, **usually expressed in dB**. It is a **normalised dimensionless number**, comparing the strength observed to that expected from an area of one square meter.”
  - (Source: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/definitions>)
- **Menu: Radar > Radiometric > Calibrate (Figure 178)**
  - In the “I/O Parameters” window
    - Select the “ML” images as input
    - Keep default added suffix “Cal” in the output filename
    - Select your working directory as output directory
  - In the “Processing Parameters” window
    - Check “Output sigma0 band” (= ratio instant/receive backscatter per unit area in ground range)
  - Click on Run
  - Repeat the process for the other image

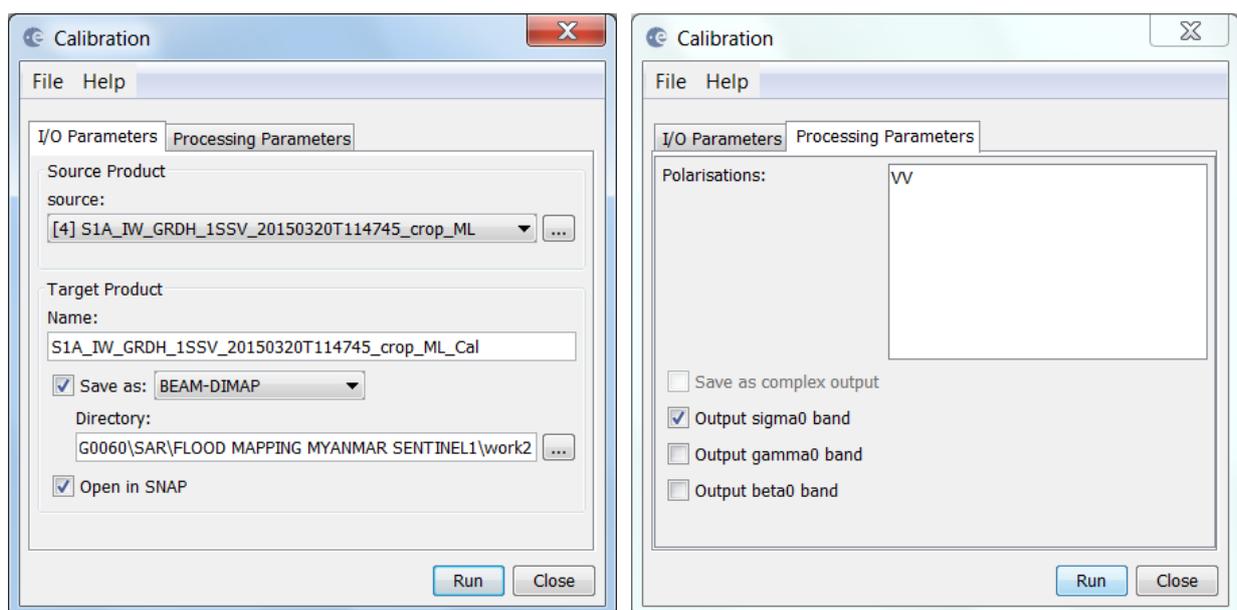


Figure 178 : Parametrization of the Radar Radiometric Calibration tool of SNAP

## 9.14. Intermediate steps: visualization (video timing: 8 min 22 sec)

- Visualize the 2 sigma0 images in the viewer
  - Double-click on each calibrated images in the “Product Explorer” window to open them in the SNAP viewer (“Sigma0\_VV” is the name of the calibrated images)
  - **Menu: Window > Tile Evenly** to display the images side by side

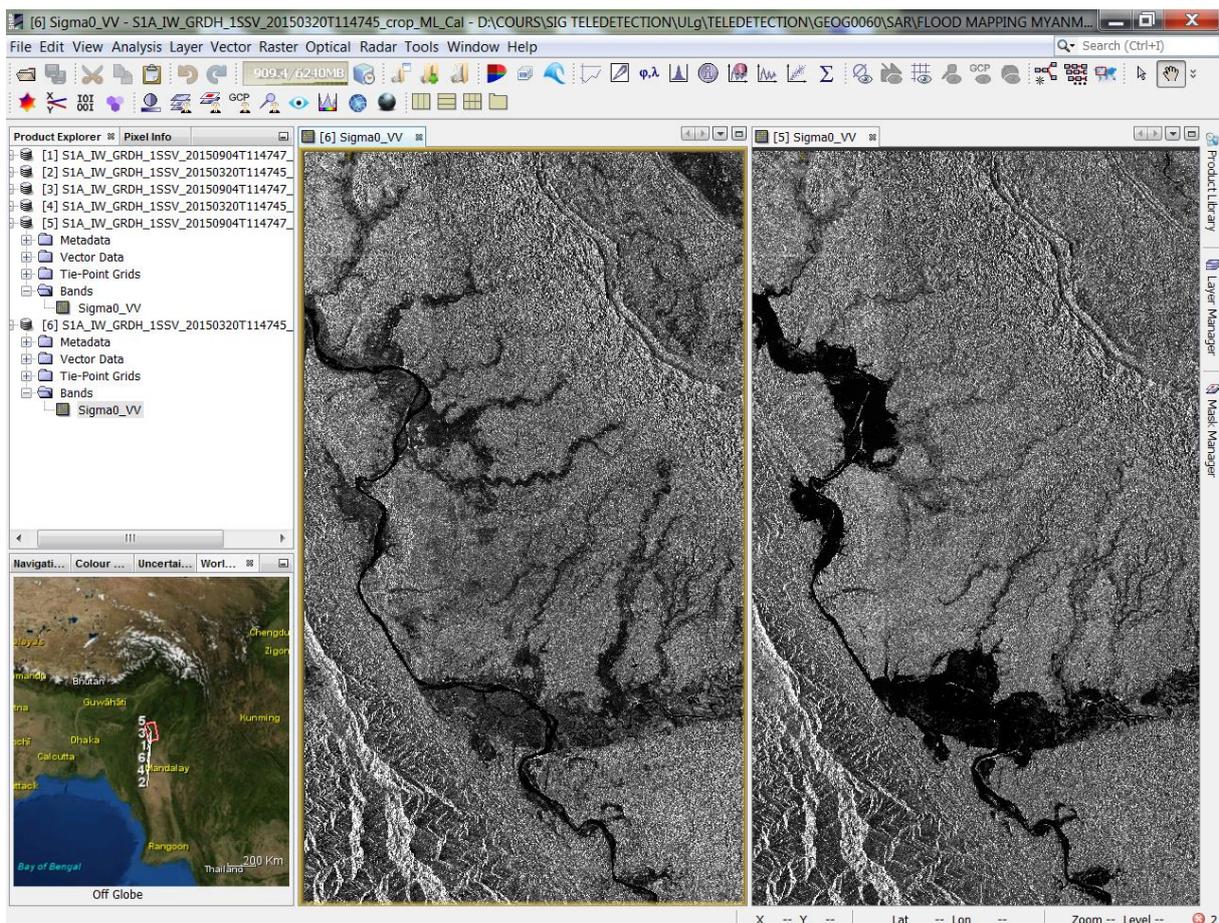


Figure 179 : Subsetted, Multilooked and Radiometrically Calibrated (Sigma0\_VV) Sentinel-1 images displayed side by side

- Many pixels are quite dark
- Select the flood image in the viewer
- Go to the Colour Manipulation window (bottom left panel):
  - Most of the pixels have low backscatter value
  - Few pixels have very high value
- Convert values from **linear scale to non-linear logarithmic scale decibel (dB)** to get a better visualization and an histogram easier to manipulate

- Right click on the band to convert (Sigma0\_VV) > Linear to/from dB > Yes to create a new virtual band
- Repeat that for the other image
- Open the 2 converted images in dB by double-clicking on them
- Menu: Window > Tile evenly (you can rearrange the windows if you want) (Figure 180)
- In dB, there is a much better distinction between land and water pixels
- We can see 2 peaks in the dB images histograms:
  - 1 small low values peak for pixels over water
  - 1 big high values peak for land pixel
- Close all images from the viewer but keep the images in the “Product Explorer” tab

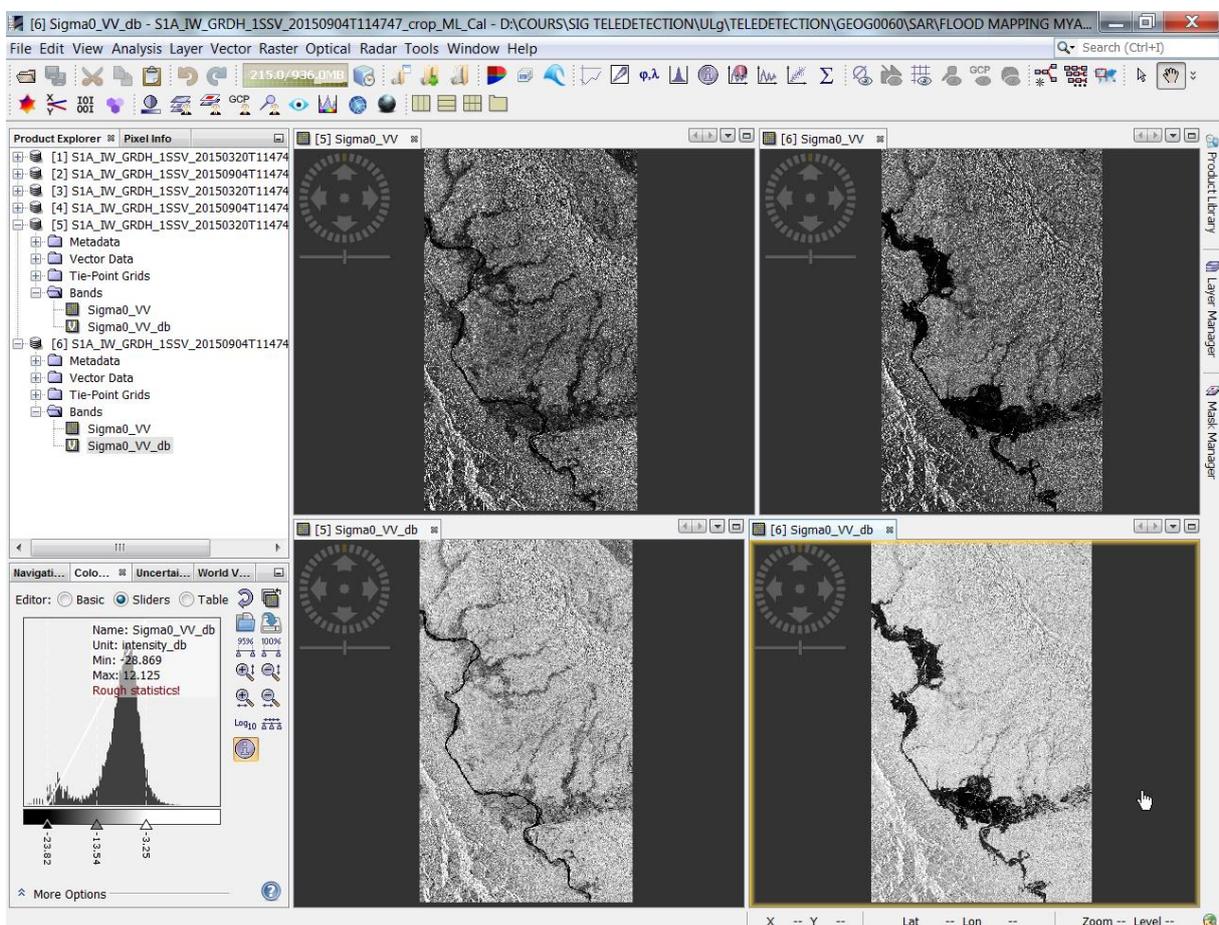


Figure 180 : Comparison of the Sigma0\_VV Sentinel-1 images before (above) and after (below) the “Linear to/from dB” image histogram conversion for the archive (left) and flood (right) images

## 9.15. Terrain Correction (video timing: 10 min 22 sec)

- **Purpose:**
  - To project the image into a coordinates system, and
  - To correct for distortion due to the mountainous terrain
- **Menu: Radar > Geometric > Terrain correction > Range-Doppler Terrain Correction > all parameters by default > Run (default suffix = TC)** (Figure 181)
  - In the “I/O Parameters” window
    - Select the “ML\_cal” images as input
    - Keep default added suffix “TC” in the output filename
    - Select your working directory as output directory
  - In the “Processing Parameters” window
    - Keep all default parameters (WGS84 map projection)
  - Click on Run
  - Repeat the process for the other image

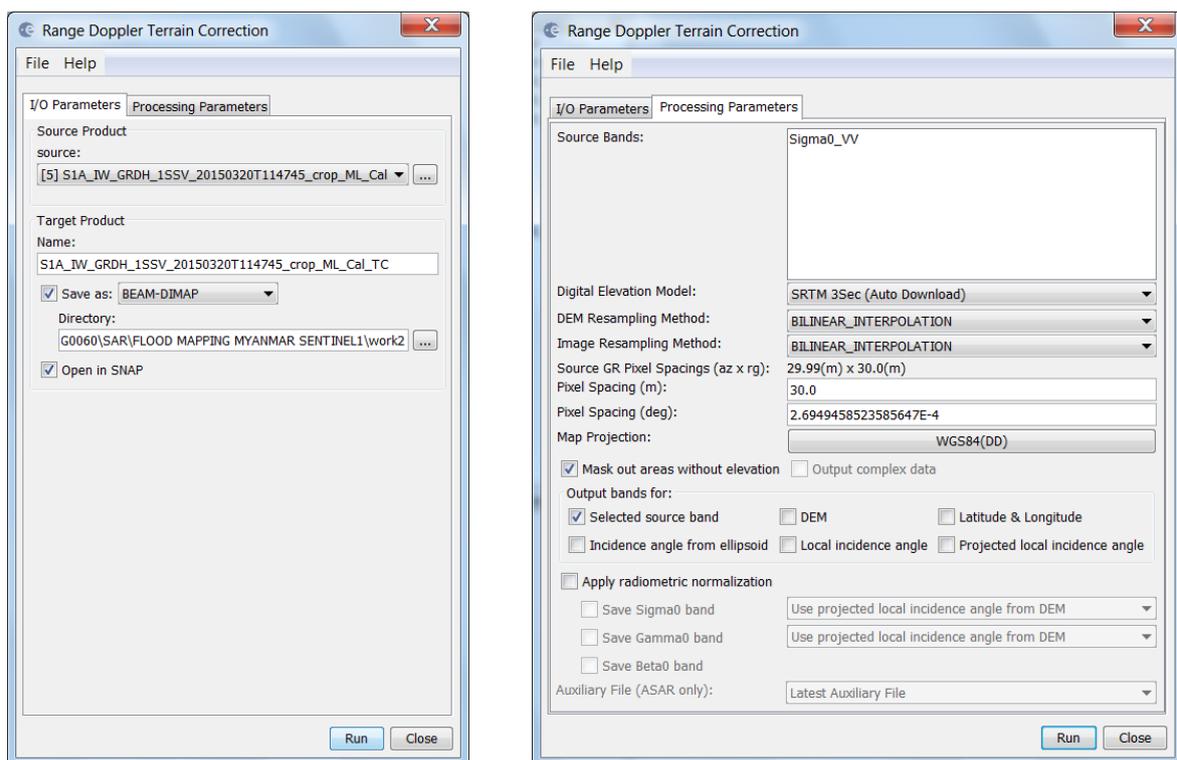
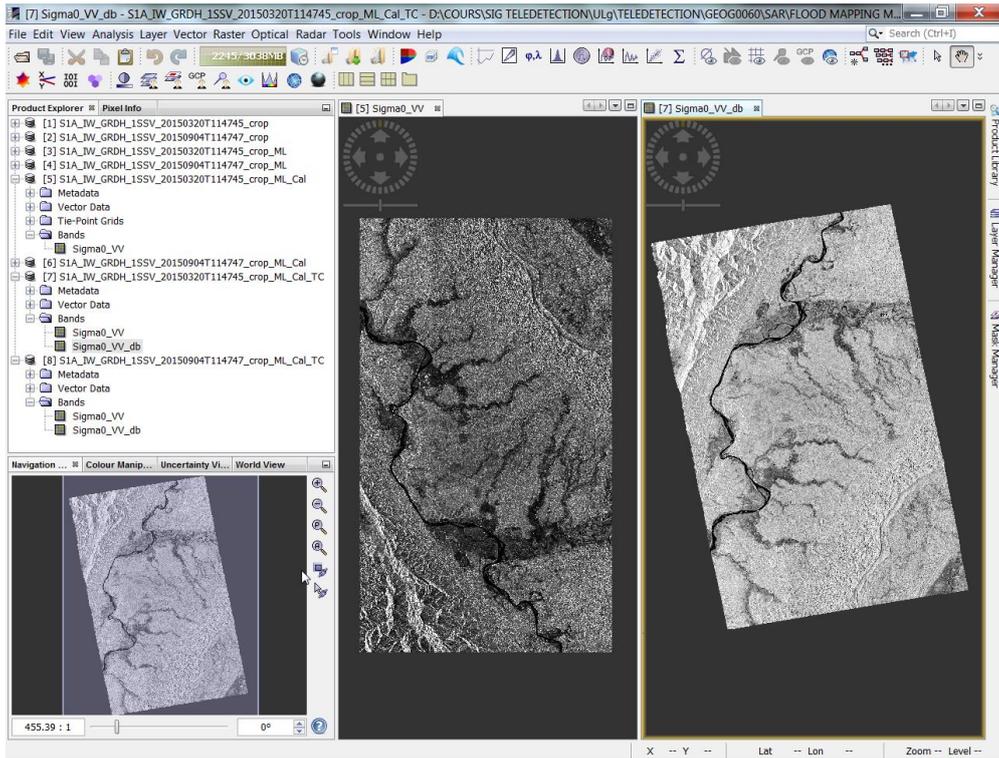


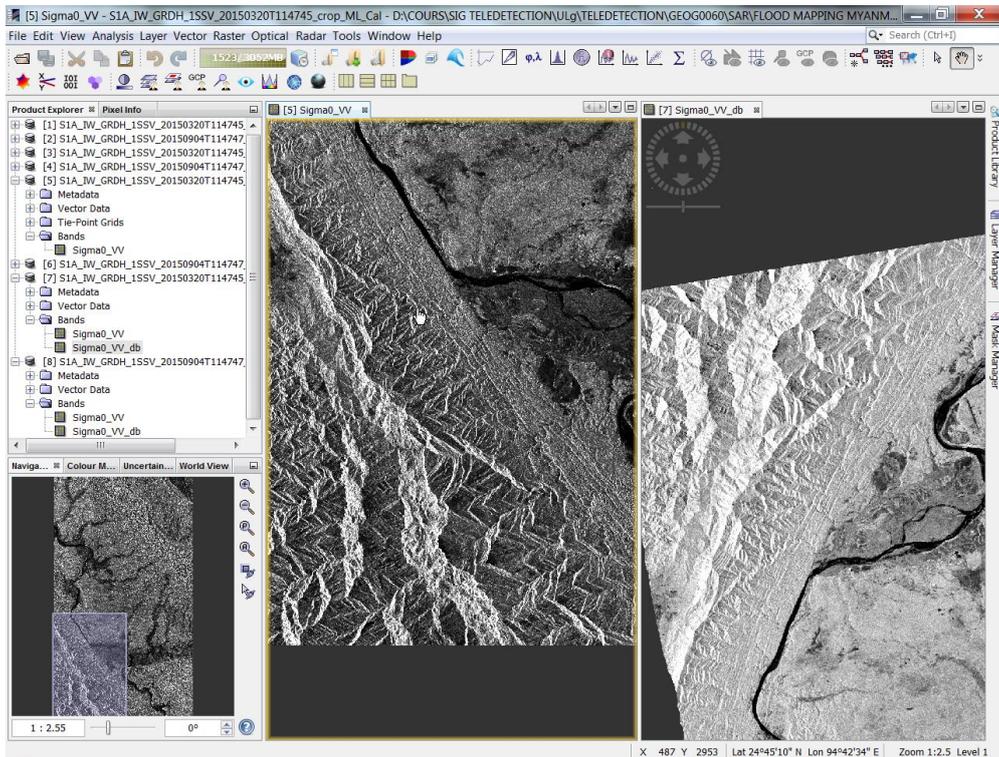
Figure 181 : Parametrization of the Range Doppler Terrain Correction tool of SNAP

## 9.16. Visualization of the terrain corrected images (video timing: 11 min 32 sec)

- **Convert the “TC” bands to dB** (confer method explained above)
- **Convert the virtual created dB bands to real file**
  - **Right click on the dB band > convert band**
- **Save to dB band to file**
  - **Select the dB band > Main menu File > Save Product:** this saves the dB band to the image
- **Visualize the dB terrain corrected bands**
  - The image has been projected into a coordinate system: the **TC image orientation has changed!** (Figure 182)
  - In order to be able to compare the non TC an TC images visually, you have to **unsynchronize the views** with the dedicated button in the “Navigation” tab (bottom left panel), and then **open each image** in a window that you can display side by side. You will maybe have to unzoom a lot from one of the two images to **adjust the visualization.**
  - There is **no more distortion in the mountain area** (Figure 183)
  - (You could also do a **contrast stretch** with the “Color Manipulation” tab (bottom left panel) to highlight only the pixels over the land)



**Figure 182 : Comparison of the archive Sentinel-1 images before (left) and after (right) the Terrain Correction: change of the image orientation due to the projection into a coordinate system**



**Figure 183 : Comparison of the archive Sentinel-1 images before (left) and after (right) the Terrain Correction for a mountainous area: the geometric distortion have been corrected**

## 9.17. Combination of the Archive and Crisis images to produce a RGB composite of the flooded area, preliminary step: images stack (video timing: 13 min 25 sec)

- **Purpose of the RGB composite:** to enable the distinction of permanent water bodies and flooded areas.
- **Remarque:** The RGB composite is effectively produced in the section 9.19 page 311.
- **Application of a stack** by simply using the products geolocation
  - **Menu: Radar > Coregistration > Stack Tools > Create Stack tabs**
  - **In window “1-ProductSet-Reader”**
    - Click on the “Add opened” button > and keep only the TC file by removing unwanted files or open only the 2 images of interest with the Add button
  - **In window “2-CreateStack”**
    - Choose “Product Geolocation” for “Initial offset method”
    - ([...Remarque: for interferometry, a much more precise geolocalization method should be used...])
  - **In window “3-Write”**
    - Remove part of the filename which is not common to both images: the acquisition dates
  - Select Run
  - Close window

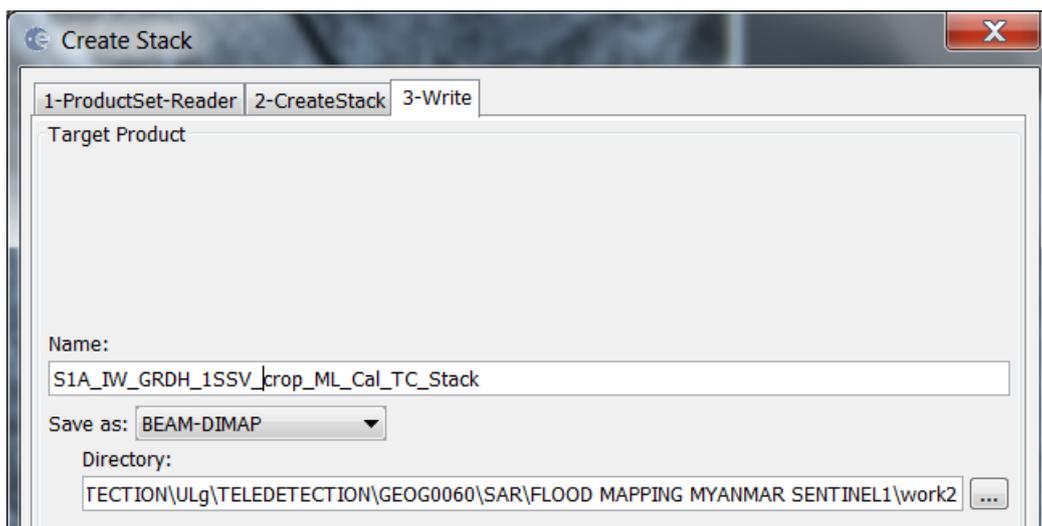
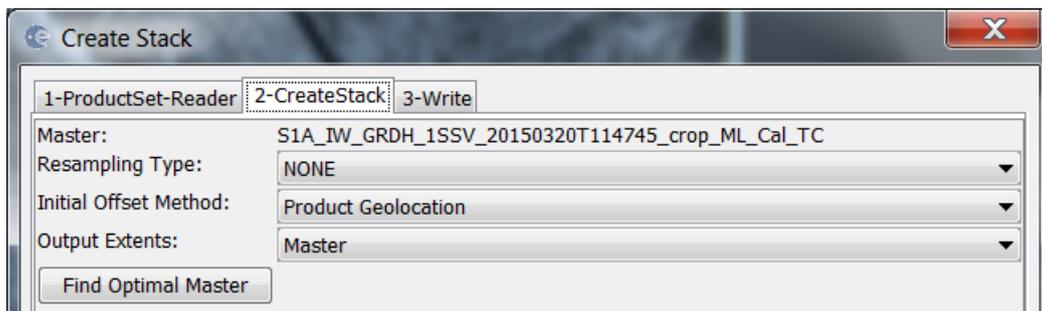
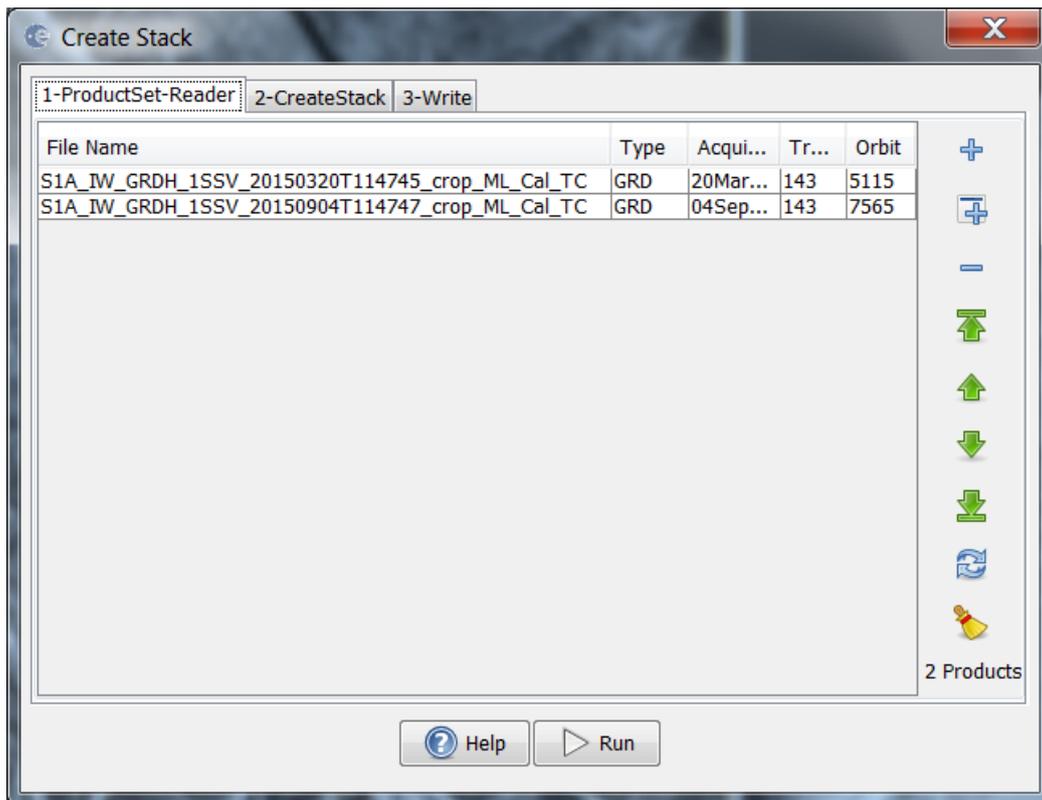


Figure 184 : Parametrization of the « Create Stack » tool of SNAP

## 9.18. Overlay of the stacked images for visual comparison of the 2 images (optional)

- (This step is not really necessary in the general workflow) (video timing: 15 min 33 sec)
  - We get the stack image file which is one single image file that contains **4 layers** coming from the 2 archive and crisis images in the “Bands” subfolder
  - **Open the 2 images in dB**
  - Apply a **contrast stretch** with the histogram focused on the higher pixel values peak
  - To **overlay the 2 images in the same viewer**:
    - Click on the Archive image in the viewer to select it
    - **Go to “Layer manager” (right panel) > + icon >Image of Band / Tie-point Grid > Next > overlay the 2<sup>nd</sup> image in dB (Crisis image) on the first one > Finish**
  - You can then compare both images by checking unchecking one image in the right panel “Layer manager” or by playing with the transparency slider at the bottom of the “Layer manager”

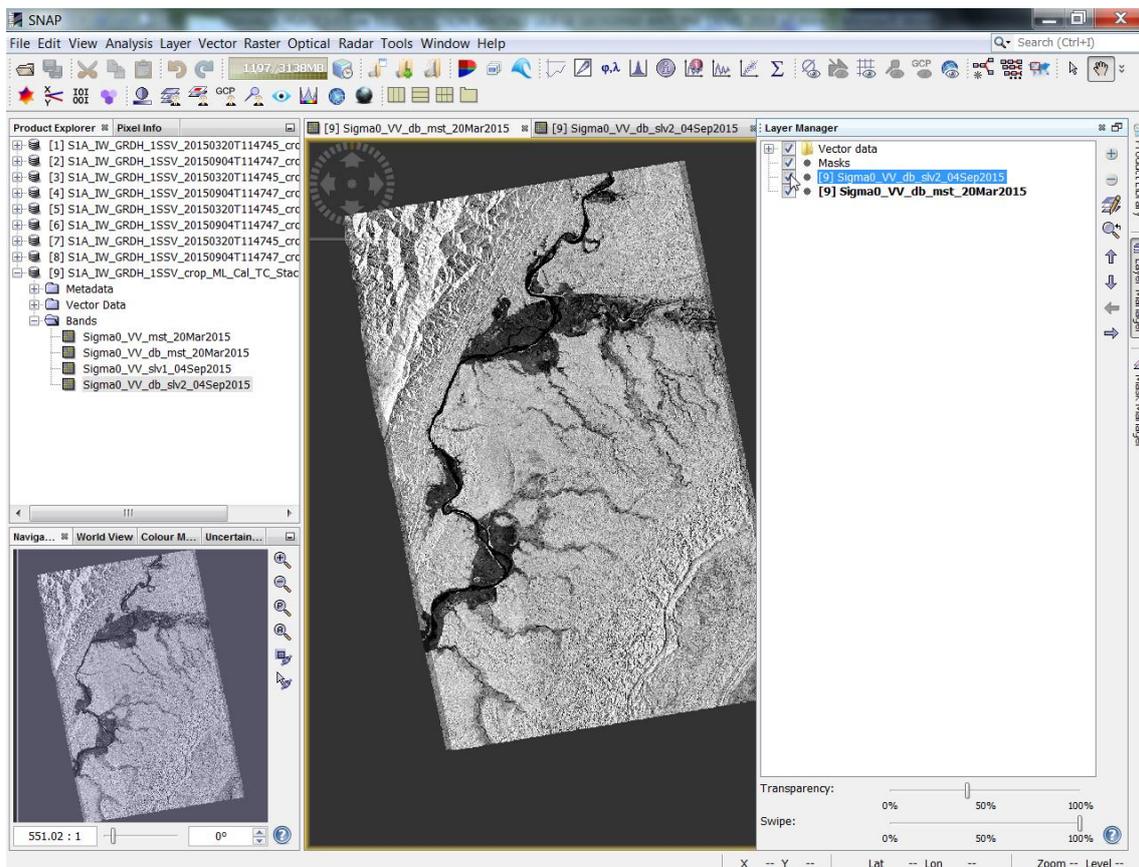


Figure 185 : Overlay of the 2 TC dB images in 1 viewer and use of the « Layer Manager » panel allowing to check/uncheck one of the 2 overlaid layers as well as applying a transparency in order to compare the 2 images

## 9.19. RGB composite image (video timing: 16 min 50 sec)

- **Purpose:** to distinguish between flooded area and permanent water bodies
- Select the name of the stack file in the “Product Explorer” window
- **Menu: Window > Open RGB window**
  - **Red band:** select Archive image
  - **Green and Blue bands:** select Crisis image
  - Click OK
  - View the flood map (Figure 186)

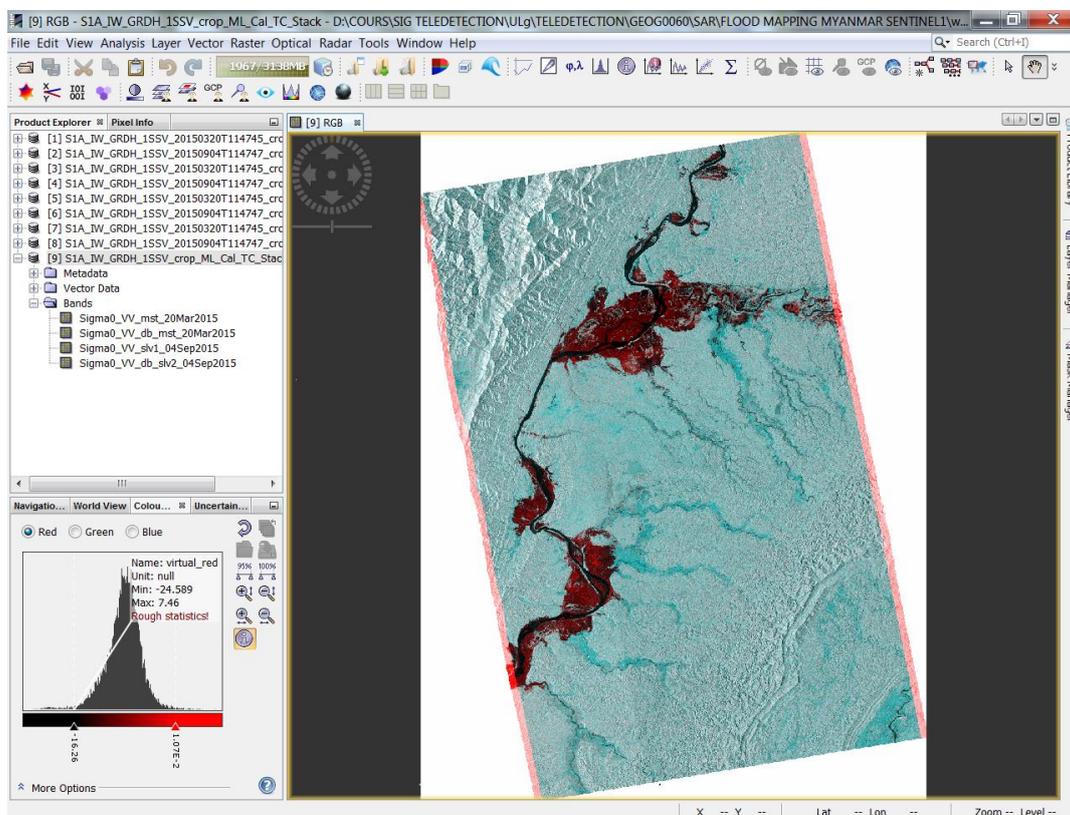
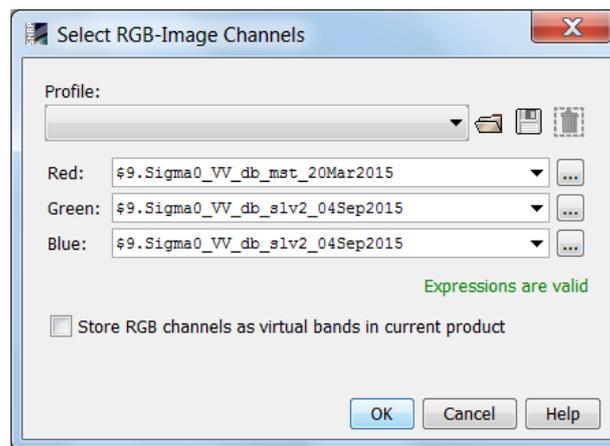


Figure 186 : RGB composite using, in the Red band, the Archive image, and in the Green and Blue bands, the Crisis image

## 9.20. Interpretation of the RGB composite image (video timing: 17 min 28 sec)

- The **RGB composite image** is presented in Figure 186.
- **Flooded areas**
  - Appears **in red** because, given the selected RGB composite above, where floods occur,
    - the **Archive image** (in the red channel) has higher backscatter (no flood) than
    - the **Crisis image** (in the green and blue channel) (low backscatter for flooded areas)
  - So for flooded areas, there is a high value in the red channel and low value in the green and blue channels.
- **Non-flooded land**
  - Appears in **tones of gray** as there is approximately the same backscatter for the 2 images (no difference), and that that “same” information is associated to all 3 channels
- **Permanent water bodies**
  - Appears as **uniform dark areas** as there is a low backscatter values for both Archive and Crisis images, both associated to the 3 RGB channels
- **Some part of the land are cyan**
  - This translates a **higher response in the green and blue channels** corresponding to the crisis image, than in the Archive image. This may be due to particular ground cover which is not related to flood.

## 9.21. Exportation of the RGB composite of the flood map in another format and visualization of the result in GOOGLE EARTH PRO (video timing: 19 min 22 sec)

- (Menu: File > Export > Geotiff). This step is not done in the video. This is just an example.
- The **visualization of the RGB composite of the flood map in GOOGLE EARTH PRO** is presented in (Figure 187).
- **Right click on the view > Export View as Google Earth KMZ**
  - Record the output in your working directory and call it for example “Flood”
  - Browse to you working directory where the file “**Flood.kmz**” has been saved
  - If you have **Google Earth Pro** installed on your computer, you can simply **double-click** on this file and it will automatically open in Google Earth at the right position.
  - (If you do not have Google Earth Pro installed on your computer, you can get it here for example: [https://www.google.com/intl/fr ALL/earth/versions/](https://www.google.com/intl/fr_ALL/earth/versions/) (bottom of page))
  - You can then **compare the flood map with Google Earth Pro imagery** and also **check the registration** (georeferencing) of the flood map, which is good in this case (by deselecting the layer or playing with the layer transparency). In Google Earth Pro you can also apply an **oblique view and ask for a 3D rendering of the natural relief** (that can be exaggerated: menu Tools > Options > 3D View > Relief > and set the elevation factor to 3).

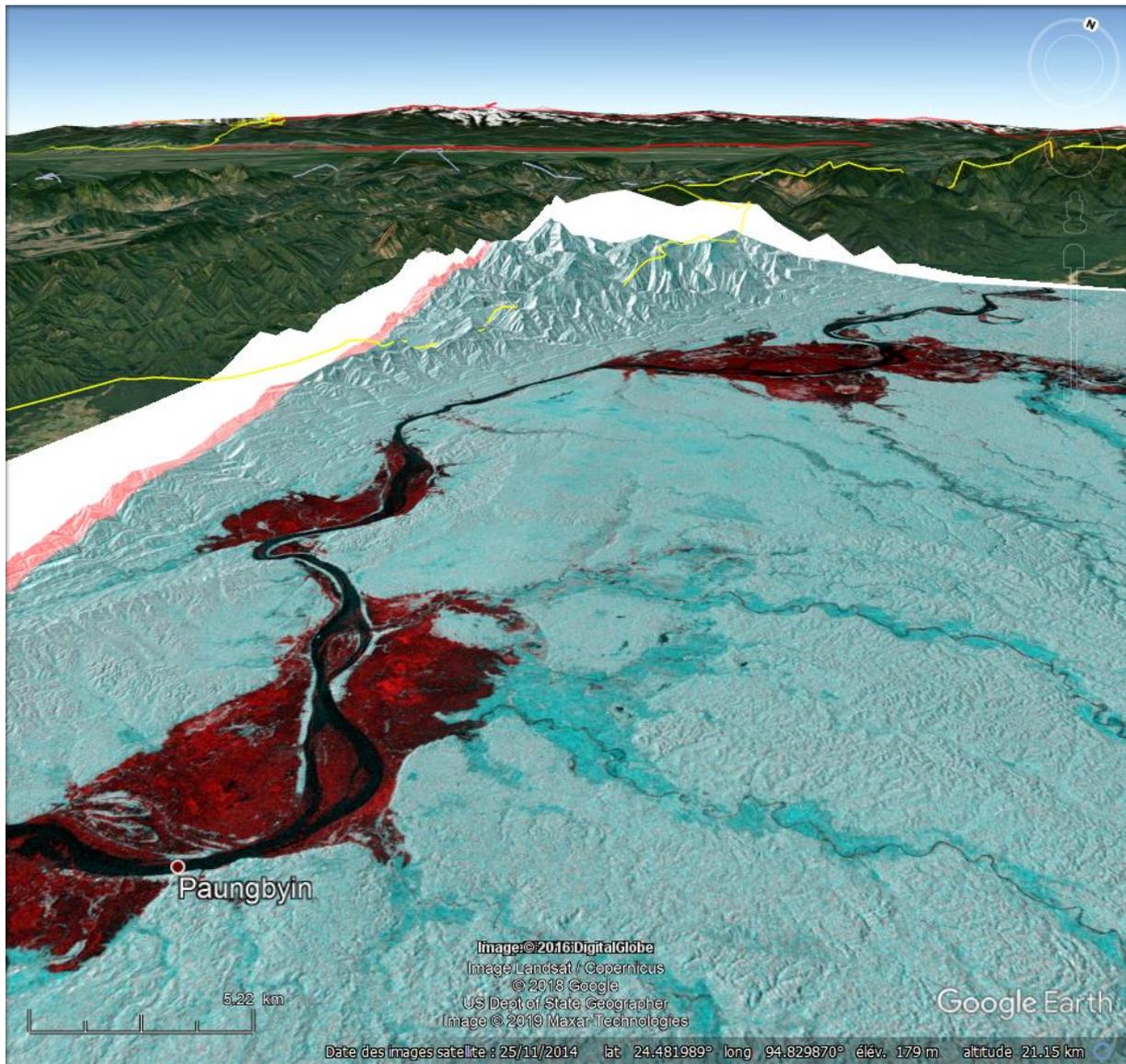


Figure 187 : Outlook of the RGB composite flood map overlaid in Google Earth Pro with an oblique 3D view

## 9.22. Autre tutoriel: Satellite Remote Sensing of Flood Monitoring and Management (NASA ARSET)

Ce tutoriel en anglais présente différentes méthodes d'identification des zones inondées à partir d'images SAR Sentinel-1 dans le logiciel SNAP et Google Earth Engine. Les **méthodes proposées** sont :

- Composition RGB multi-temporelle dans SNAP (même méthode que dans la section 9 de ce manuel).
- Classification par seuillage simple dans SNAP
- Classification supervisée par « random forest » dans SNAP
- Classification par seuillage simple dans Google Earth Engine

La page principale du workshop de 2 jours est :

- <https://arset.gsfc.nasa.gov/water/workshops/india2018>

Documents particulièrement intéressants :

- SAR Applications for Flood Mapping / SAR Application for Mapping the Kerala Floods, **tutoriel** SNAP + Sentinel-1, PDF : [https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/disasters/IndiaFlood18/sar\\_hands\\_on\\_india-final.pdf](https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/disasters/IndiaFlood18/sar_hands_on_india-final.pdf)
- **Rappel théorique** utile sur le SAR : <https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/disasters/IndiaFlood18/D2P2-Overview-SAR-final.pdf>

# 10. Cartographie d'inondations par télédétection RADAR (Sentinel-1) et multispectrale (Sentinel-2)

<b>Objectifs pédagogiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Découvrir et utiliser l'application web de référence <u>EO BROWSER</u> pour évaluer l'ampleur d'inondations à partir de l'analyse visuelle de données satellites Sentinel-1 (RADAR) et Sentinel-2 (multispectrale) et réaliser des illustrations dérivées dont des « time-lapse » (animation vidéo) traduisant la dynamique de ces inondations.</li> <li>• Se rendre compte de la <u>complémentarité des données spectrales</u> (ex : Sentinel-2) et RADAR (ex : Sentinel-1)</li> <li>• Découvrir très brièvement le service "<u>Emergency Management Service (EMS) – Mapping</u> » du programme Copernicus.</li> </ul>
<b>Données</b>	Aucune
<b>Logiciel ou application</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EO BROWSER : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <a href="https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/">https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/</a></li> </ul> </li> <li>• Copernicus Emergency Management Service (EMS) – Rapid Mapping : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <a href="https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-activations-rapid">https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-activations-rapid</a></li> </ul> </li> </ul>
<b>Temps approximatif</b>	~ 30 minutes
<b>Prérequis</b>	Quelques connaissances théoriques sur la télédétection multispectrale et RADAR vous permettront de mieux comprendre cette section, bien qu'elles ne soient pas indispensables pour sa réalisation.
<b>Consignes évaluation</b>	<i>Sont surlignées en jaune et en italique dans le texte ci-dessous, des consignes qui pourraient servir à l'évaluation potentielle de la bonne réalisation de cette section, à travers la production d'un petit rapport.</i>
# inondations, radar, sentinel-1, multispectral, sentinel-2, EOBROWSER, Copernicus Emergency Management Service (EMS) – Rapid Mapping	

## 10.1. Accès à l'application EO BROWSER

- Rendez-vous sur la page web de l'application **EO BROWSER** disponible ici (Figure 188):
  - <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>
- Descendez légèrement sur cette page et utilisez le menu « **START EXPLORING !** »
- Créez-vous un compte EOBROWSER: bouton **Login** > Sign Up > finalisez cette procédure d'enregistrement > Loguez-vous

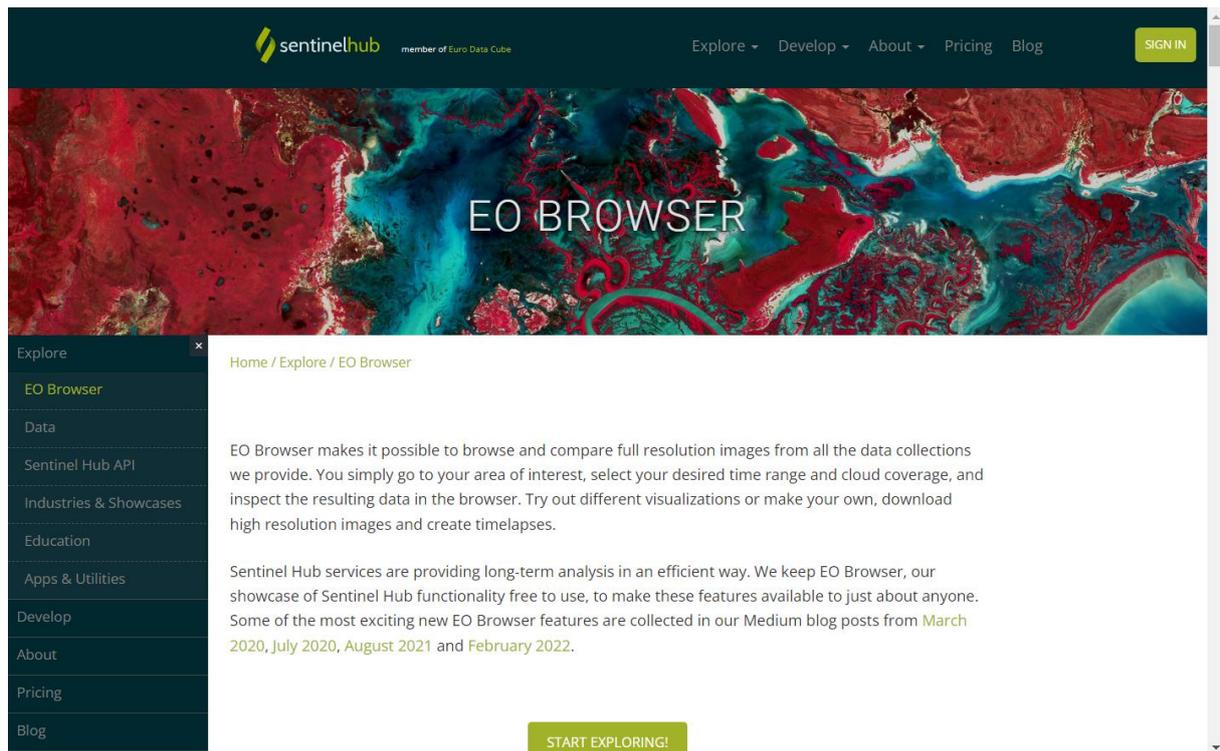


Figure 188 : Page d'accueil du site web EO BROWSER

## 10.2. Visualisation de zones irriguées sur une image RADAR Sentinel-1

- Dans EO BROWSER, recherchez une image RADAR Sentinel-1 sur une **zone de cultures irriguées** et remarquez que les parcelles irriguées apparaissent dans une couleur similaire à celle des masses d'eau (bleu en mode de visualisation « Enhanced visualization ») (Figure 189).
  - **Insérez la capture d'écran correspondante dans votre rapport**



### 10.3. Visualisation d'une zone inondée sur une image RADAR Sentinel-1 et sur une image multispectrale Sentinel-2

- L'importante inondation en amont de la ville de Khartoum au Soudan en septembre 2020 est utilisée dans cette section à titre d'exemple. Vous pouvez éventuellement effectuer la même démarche pour une autre inondation.
- Aperçu contextuel de terrain ici (ne visionnez pas les vidéos dans toute leur longueur. Visionnez quelques courts extraits pour vous faire une petite idée de la situation sur le terrain):
  - <https://www.youtube.com/watch?v=m7vN5RaAITw>
  - <https://www.youtube.com/watch?v=WQVjrtA4jQI>



Figure 190 : inondation à Khartoum (Soudan) en septembre 2020

- Localisation générale de la ville de Khartoum (Soudan)
  - <https://www.google.be/maps/@16.3735079,30.8845826,6.18z>
- Cartographie de l'inondation par comparaison de la situation avant/pendant disponible sur le site web NASA EARTH OBSERVATORY :
  - <https://earthobservatory.nasa.gov/images/147288/record-flooding-in-sudan>
  - L'outil swipe permet de comparer facilement les situations avant (2016) versus pendant (2020) l'inondation en amont de la ville de Khartoum à partir d'images satellites **Landsat-8**.



23 septembre 2016 (avant l'inondation)



2 septembre 2020 (pendant l'inondation)

- Cartographie de l'inondation par UNITAR (United Nations Institute for Training and Research)
  - <https://www.unitar.org/maps/map/3107>
  - *"This map illustrates satellite-detected surface waters over Khartoum, Al-Jazirah and White Nile states in Sudan as observed from **Sentinel-2** image acquired on 30 Aug 2020."*

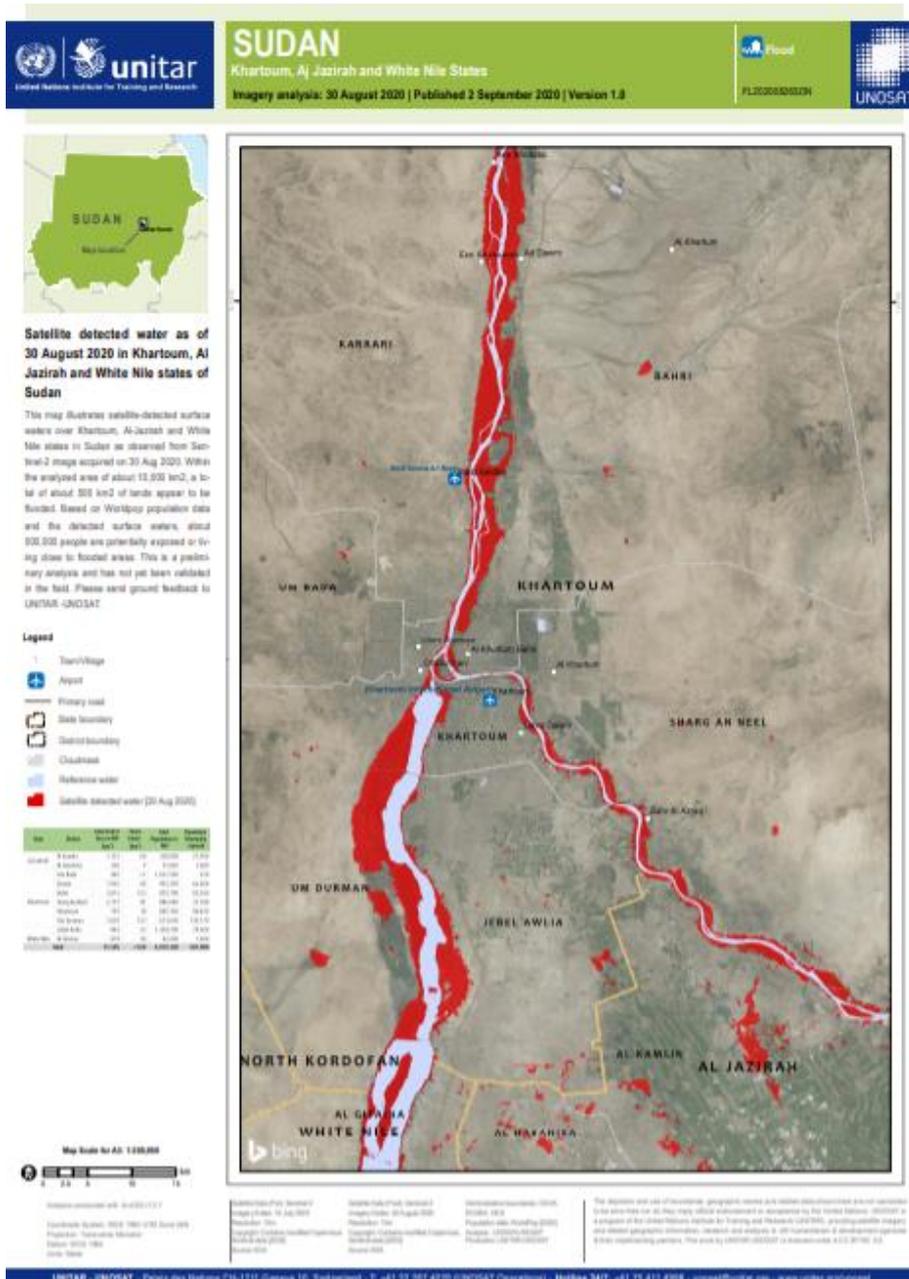
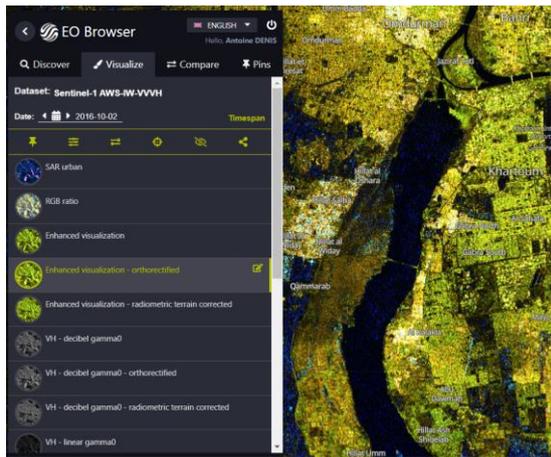
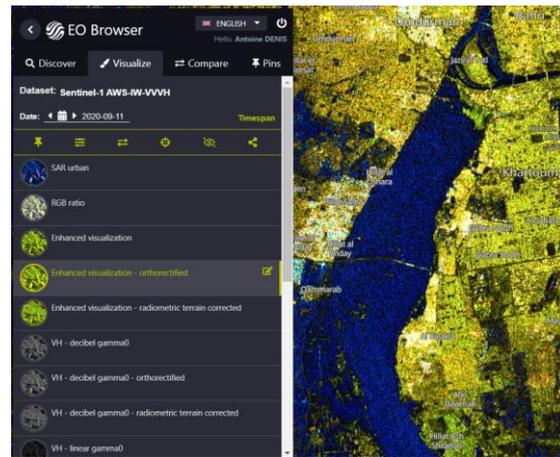


Figure 191 : Cartographie des zones inondées (en rouge) aux alentours de la ville de Khartoum (Soudan) le 30 août 2020 à partir d'une image Sentinel-2

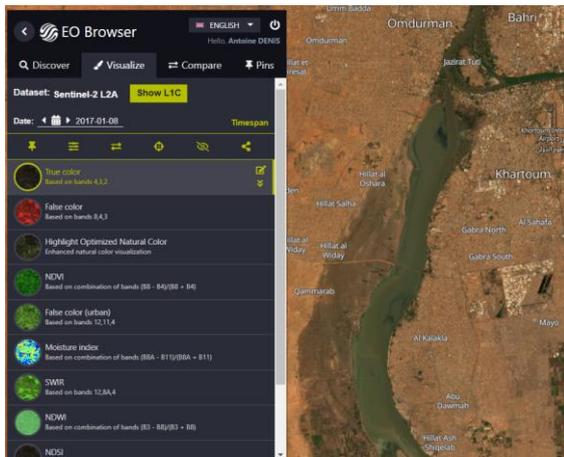
- Visualisation de l'inondation dans l'application **EO BROWSER** :
  - Cherchez des images **Sentinel-1** et **Sentinel-2** sur la zone inondée, par exemple des images datant de fin août / début septembre 2020 sur Khartoum.
    - Utilisez la meilleure option de visualisation pour chaque type d'image
    - Insérez les 2 captures d'écran correspondantes dans votre rapport (Sentinel-1 et Sentinel-2)



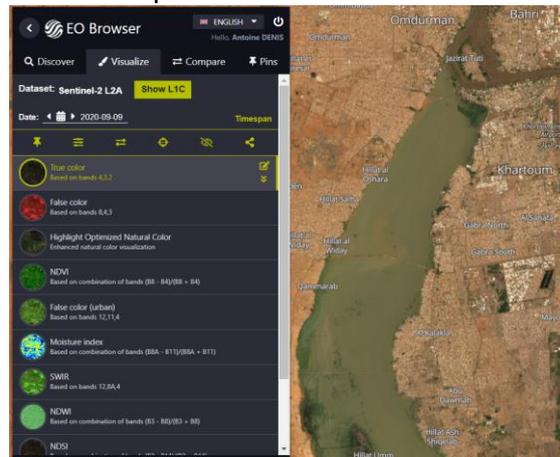
2 octobre 2016 - Sentinel-1



11 septembre 2020 - Sentinel-1



8 janvier 2017 - Sentinel-2  
(pas de donnée Sentinel-2 2016 dans EO BROWSER)



9 septembre 2020 - Sentinel-2

Figure 192 : Le Nil Blanc en amont de la ville de Khartoum (Soudan) tel que vu par Sentinel-1 (en haut) et Sentinel-2 (en bas) en absence de crue (à gauche) et en période de crue (à droite)

- Réalisez 2 « time-lapse » (animation vidéo) de fréquence hebdomadaire sur base d'images **Sentinel-1 et Sentinel-2** sur la zone inondée, sur une période de 5 mois précédant l'inondation et incluant la période d'inondation, par exemple entre début mai et mi-septembre 2020 sur Khartoum, pour mettre en évidence l'évolution spatio-temporelle de l'inondation.
  - Insérez une capture d'écran de la création d'un time-lapse dans votre rapport.
  - Téléchargez les 2 time-lapse (Sentinel-1 et Sentinel-2) et placez-les dans votre dossier pour l'évaluation.
  - Commentez brièvement les avantages et inconvénients des 2 types d'images utilisés pour réaliser le suivi de l'évolution d'une inondation.

## 10.4. Emergency Management Service - Mapping : EMS Copernicus

- Notez l'existence du service Copernicus Emergency Management Service (EMS) – Rapid Mapping :
  - <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-activations-rapid>
- Et jetez un œil au type de cartes produites par ce service. Par exemple, la carte sur les inondations de 2020 au Niger :
  - [https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR466\\_AOI01\\_DEL\\_PRODUCT\\_r1\\_RTP01/1](https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR466_AOI01_DEL_PRODUCT_r1_RTP01/1)

## 10.5. Déformations géométriques des images RADAR Sentinel-1 liées au relief

Cette section n'a pas de rapport direct avec la détection des inondations par télédétection RADAR. Il est donné à titre complémentaire.

- Dans EO BROWSER, recherchez une image Sentinel-1 sur une **zone montagneuse** de votre choix qui met en évidence les effets de déformations géométriques typiques des images RADAR et produisez une vue 3D à l'aide du bouton « cube » disponible à droite de l'interface (via un clic-droit maintenu enfoncé sur l'interface de visualisation 3D avec déplacement simultané de la souris) (confer Figure 193 et Figure 194)
  - **Insérez les 2 captures d'écran correspondantes (2D et 3D) dans votre rapport**

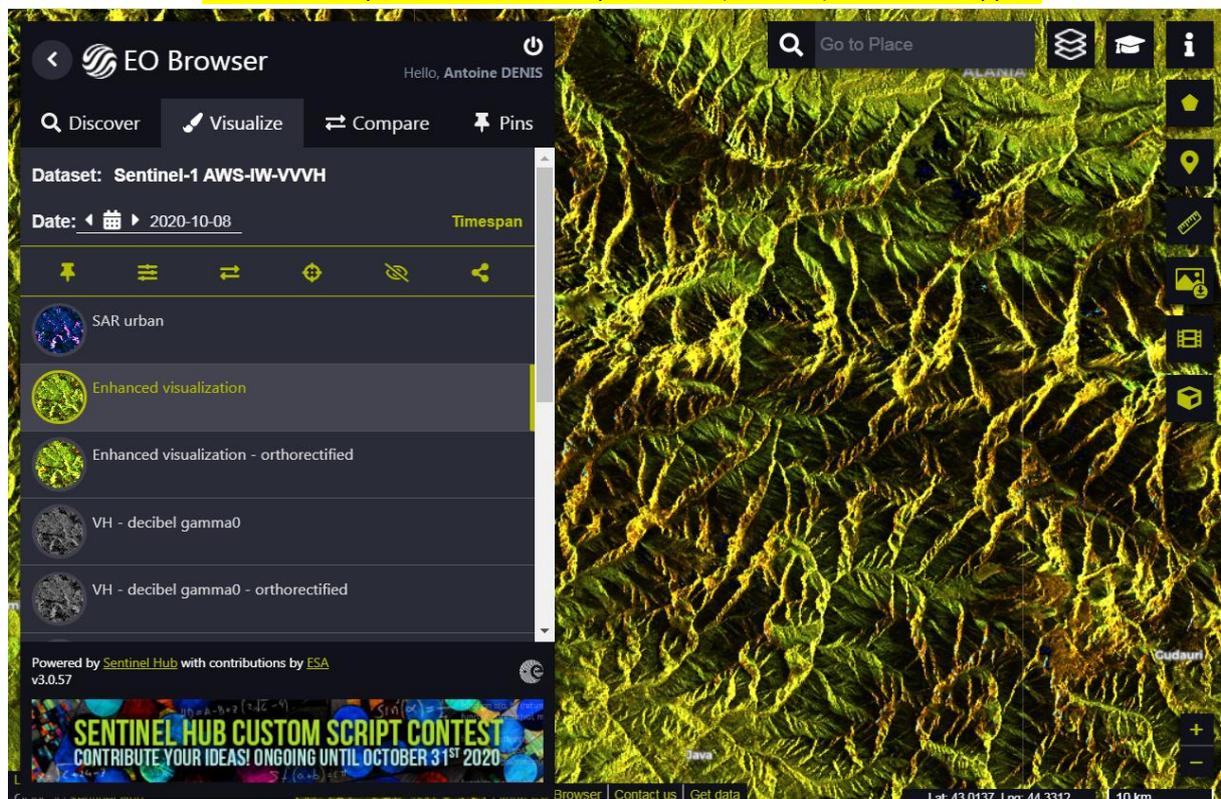


Figure 193 : Exemple de déformations géométriques observées sur une image Radar Sentinel-1 en zones montagneuses (Nord de la Géorgie)

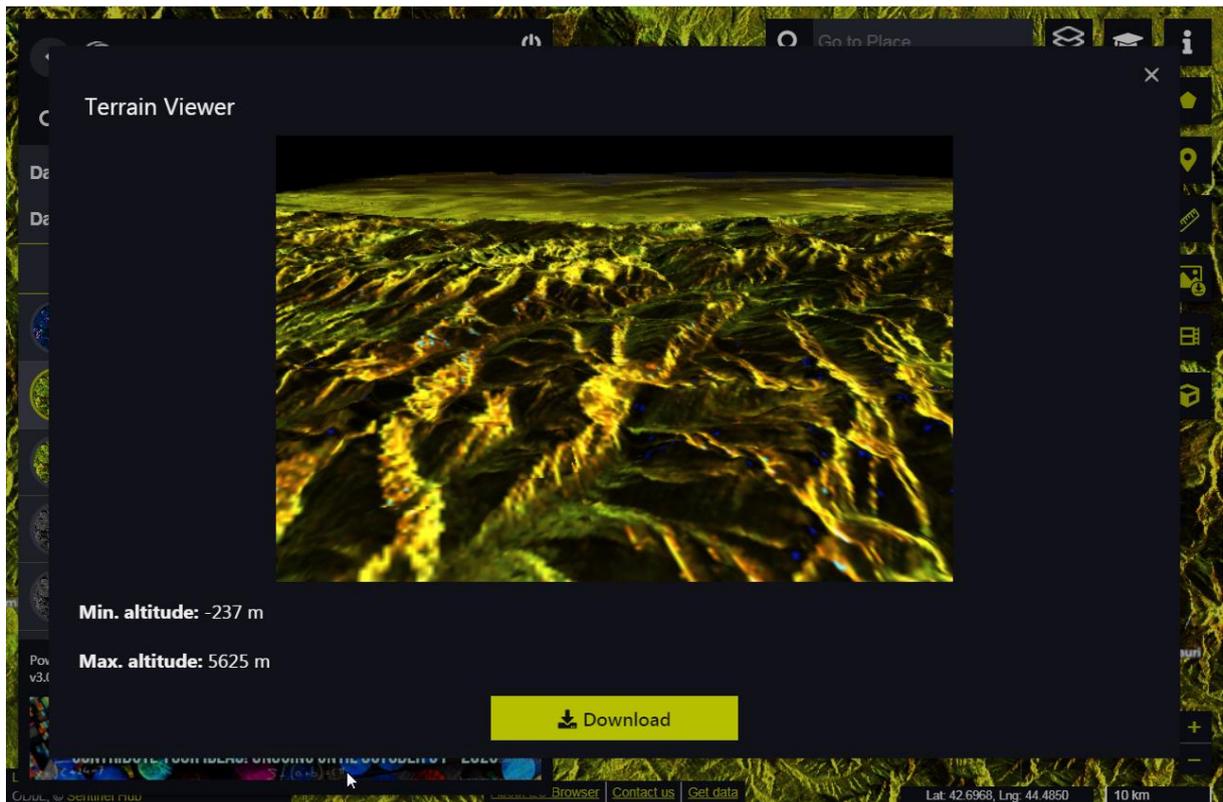


Figure 194 : Exemple de représentation 3D dans EOBrowser à partir d'une image Radar Sentinel-1 en zones montagneuses (Nord de la Géorgie)

# 11. SPIRITS : Analyse d'une série temporelle d'images NDVI basse résolution dans SPIRITS

<p><b>Objectifs pédagogiques</b></p>	<p>Vous initier à l'utilisation et aux concepts d'un logiciel de référence (SPIRITS) pour le traitement des séries temporelles d'images satellites basse résolution. En particulier</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Télécharger et prétraiter</b> une série temporelle d'images (décompression, renommage, importation, etc)</li> <li>• Réaliser des <b>traitements en lot/en série</b> (dont production de <b>cartes</b>, extraction de <b>statistiques</b> par zone, etc)</li> <li>• <b>Lissage temporel</b> des images (filtre temporel)</li> <li>• Calcul d'images d'<b>anomalie</b> des conditions de végétation</li> <li>• Calcul d'images de <b>paramètres phénologiques</b></li> </ul>
<p><b>Données</b></p>	<p>Les données nécessaires à la réalisation de cet exercice <b>ET</b> les données résultant des opérations à faire dans cet exercice sont toutes disponibles dans le dossier «...\<b>7_SERIE_TEMPORELLE_SPIRITS\TIME_SERIES_ANALYSIS\...</b>» (~ 1.2 GB).</p> <p>Téléchargez ce dossier sur votre ordinateur en local dans votre répertoire de travail et décompressez-le. ATTENTION ! Voyez la section 1.2 page 19 pour plus d'information sur l'accès aux données.</p> <p><b>ATTENTION !</b> Pour le bon fonctionnement de l'ensemble des outils pré-paramétrés mis à votre disposition dans ce dossier, il est <b>IMPORTANT</b> que vous placiez le dossier « <b>TIME_SERIES_ANALYSIS</b> » à la racine du <b>disque C</b> de votre ordinateur pour obtenir le répertoire « <b>C:\TIME_SERIES_ANALYSIS\...</b> ».</p>
<p><b>Logiciel ou application</b></p>	<p><b>SPIRITS</b> (<a href="https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/download.php">https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/download.php</a>)</p> <p>ATTENTION ! Ce logiciel est déjà inclus dans le <b>dossier mis à disposition</b> « <b>TIME_SERIES_ANALYSIS\SPIRITS\SpiritsExtract_152\</b> ». Pas besoin de le re-télécharger donc ! De plus il n'y a pas de procédure d'installation. Il doit simplement être disponible dans le répertoire dans lequel il se trouve actuellement.</p>

<b>Temps approximatif</b>	~ 4 à 6 heures
<b>Prérequis</b>	Aucun

# série temporelle, basse résolution spatiale, indice de végétation

## 11.1. Contenu du dossier de l'exercice

Le contenu du dossier « 7\_SERIE\_TEMPORELLE\_SPIRITS » utilisé dans le cadre de cet exercice est présenté à la Figure 195.

7_SERIE_TEMPORELLE_SPIRITS	Dossier principal de l'exercice (à décompresser)
TIME_SERIES_ANALYSIS	<b>Dossier à placer sur le disque C de votre ordinateur</b>
DOWNLOADED_NDVI_IMAGES	
7zip_command_line	Dossier contenant le programme « 7zip » pour la décompression des images
UNZIPPED	Dossier qui recueillera les images NDVI décompressées
ZIPPED	Dossier contenant déjà les <b>images NDVI téléchargées compressées</b>
UNZIP_NDVI_IMAGES.bat	Exécutable qui permet de décompresser les images NDVI en série
SPIRITS	
SENEGAL	Dossier contenant les images traitées par SPIRITS, les autres données nécessaires et les résultats
SpiritsExtract_152	Dossier contenant le <b>programme SPIRITS</b>
SpiritsManual.pdf	Manuel officiel de SPIRITS
SpiritsTutorial.pdf	Tutoriel officiel de SPIRITS

Figure 195 : Présentation du contenu du dossier nécessaire à cet exercice

**ATTENTION !** Pour le bon fonctionnement de l'ensemble des outils pré-paramétrés mis à votre disposition dans ce dossier, il est **IMPORTANT** que vous placiez le dossier « **TIME\_SERIES\_ANALYSIS** » à la racine du **disque C** de votre ordinateur pour obtenir le répertoire « **C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\...** ».

**ATTENTION !** Le dossier « **SENEGAL** » contient déjà une série de données et de fichiers de paramétrage qui seront produits au cours de l'exercice. Même si ces données sont mises à votre disposition, il vous est conseillé, pour un bon apprentissage, de refaire toutes les étapes de l'exercice par vous-même comme indiqué dans les sections suivantes. Considérez donc ces données comme l'exemple auquel il faut arriver. Libre à vous d'utiliser directement les fichiers de paramétrages mis à disposition si vous estimez avoir compris comment les paramétrer et si vous voulez aller plus vite.

## 11.2. Introduction et motivation

### Contextualisation :

Le monitoring mondial des conditions de végétation à l'aide de séries temporelles d'images satellites basse résolution permet de mettre en place un **système d'avertissement précoce par rapport aux « hotspots » mondiaux d'anomalies de productions agricole.**

Pour en savoir plus, jetez un œil rapide au site web suivant (Figure 196):

- <https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/>
- <https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/about.php>
  - ASAP is an online **decision support system for early warning about hotspots of agricultural production anomaly (crop and rangeland)**, developed by the JRC for food security crises prevention and response planning anticipation.

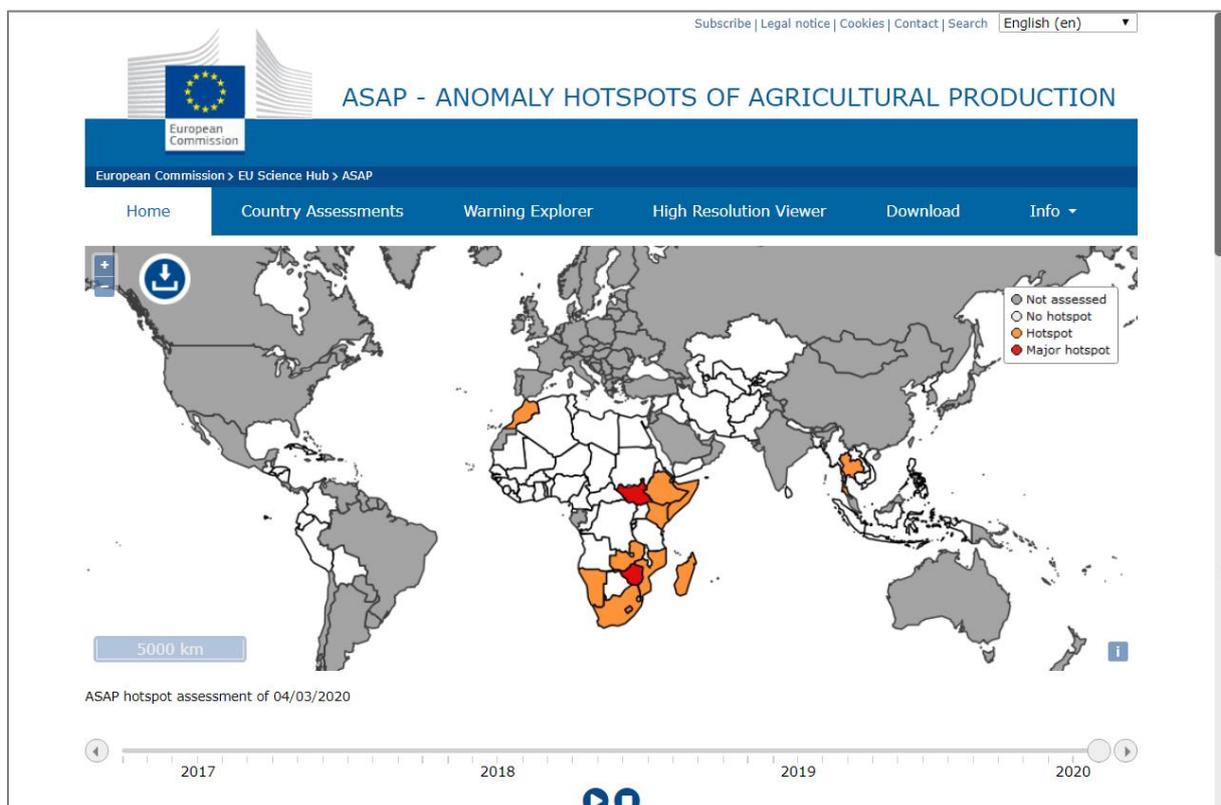


Figure 196 : Page d'accueil du site web <https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/>.

En particulier pour le Sénégal :

- <https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/country.php?cntry=217>

Notez aussi le « Warning explorer » disponible ici :

- <https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/wexplorer/>

- A explorer en quelques minutes

A travers cet exercice vous mènerez une analyse qui vous permettra notamment de :

- Produire des **cartes d'anomalie** des conditions de végétation sur le Sénégal pour l'année 2002 : ce type d'analyse, si menée en temps réel lors d'une période de sécheresse par exemple, pourrait permettre d'objectiver, de quantifier et de cartographier le mauvais état relatif des conditions de végétation en tout lieu du Sénégal et par là contribuer au déclenchement d'un éventuel processus d'aide alimentaire d'urgence et/ou permettre l'activation d'indemnisation des agriculteurs impactés, via un système d'assurances agricoles.
- Produire des images de **paramètres phénologiques** de la végétation (dates de début/fin de la saison de végétation, valeur maximum du NDVI, etc). Ce type d'images permet de caractériser les conditions de végétation au cours d'une saison et peuvent être utilisées par exemple dans un modèle de prévision des rendements agricoles.

### 11.3. Grandes étapes

- Télécharger les images
- Importer les images dans SPIRITS
- Visualiser les images + production de cartes en série
- Extraction de statistiques par zone + visualisation
- Lissage temporel des images + visualisation
- Calcul d'anomalie de végétation + visualisation
- Calcul des paramètres phénologiques + visualisation

### 11.4. Téléchargement des données

#### 11.4.1. Commande des images NDVI via le « Copernicus Global Land Service »

Série d'images NDVI à 1 km de résolution spatiale issue de 2 capteurs :

- SPOT-VEGETATION : 1/4/1998 jusque 2014
- PROBA-V : 2014 jusque maintenant

<https://land.copernicus.eu/global/>

About | Contact us

# Copernicus Global Land Service

*Providing bio-geophysical products of global land surface*



---

Home   Products   Use cases   Product Access   Viewing   Library   Get Support

---



**Vegetation**

**Energy**

**Water**

**Cryosphere**

**Hot Spots**

**Groundbased**

- Choisir « Vegetation » : <https://land.copernicus.eu/global/themes/vegetation>

About | Contact us

# Copernicus Global Land Service

*Providing bio-geophysical products of global land surface*



---

Home   Products   Use cases   Product Access   Viewing   Library   Get Support

---



<b>Burnt Area</b>	<b>NDVI</b>
<b>Dry Matter Prod.</b>	<b>Soil Water Index</b>
<b>FAPAR</b>	<b>Surf. Soil Moisture</b>
<b>FCOVER</b>	<b>VCI</b>
<b>Leaf Area Index</b>	<b>VPI</b>
<b>Land Cover</b>	

- Choisir « NDVI » : <https://land.copernicus.eu/global/products/ndvi>

Jeter un œil à :

- Définition du NDVI
- Section « NDVI characteristics » pour le NDVI 1km
  - Access
  - Algorithm

- Technical

**Data file content:**  
**Version 2:**  
 The physical values (PV) are derived from the digital number (DN) using the relation:  $PV = \text{Scaling} * DN + \text{Offset}$

LAYER NAME	DESCRIPTION	PHYSICAL UNIT / CLASSES	PHYSICAL MIN	PHYSICAL MAX	DIGITAL MAX	SCALING	OFFSET
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	-	-0.08	0.92	250	1/250	-0.08
TIME_GRID	Time of observation	Minutes since start of synthesis	0	18720	18720	1	0

Some specific values are used for the NDVI layer: 251 for missing (bad radiometry), 252 for cloud/shadow pixels, 253 for snow/ice, 254 for sea pixels and 255 for background (missing input data).

Dans l'onglet « Access » cliquer sur « Near-real time products »

**NDVI characteristics**

NDVI 300m    **NDVI 1km**

Access    Algorithm    Quality    Application    Technical    Documents    Gallery

Product version	Access	Sensor	Temporal coverage	Spatial information	Timeliness
2.2	<a href="#">Long Term Statistics</a>	SPOT-VGT, PROBA-V	1999 - 2017	Global, 1km	Annual
2.2	<a href="#">Near-real time products</a>	SPOT-VGT, PROBA-V	April 1998 - present	Global, 1km	Within 3 days after end of synthesis period
1	<a href="#">Product Portal</a>	SPOT/VEGETATION	Dec 1998 - May 2014	Global, 10°by10° tiles, continental tiles, 1km	Archive only

Arriver

sur

<https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Browse;Root=513186;Collection=1000085;Time=NORMAL,NORMAL,-1,-1>

**Copernicus Global Land Service**  
Providing bio-geophysical products of global land surface

Europe's eyes on Earth

Login Help Register FAQ Contact

Watch our video tutorial

Senegal Go legend

**Catalogue search** Subscription

**Vegetation Indicators - NDVI 1km V2.2 Global**

Help

Collection

- NDVI 300m V1 (206 products)
- NDVI 1km V2.2 Global (773 products)
- NDVI Long Term Statistics 1km V2 (36 products)
- NDVI 1km V1 (3885 products)
- VCI V1 (1687 products)
- VPI V1 (1421 products)

Basic

Date	Slot
Start date	01/04/1998
End date	27/09/2019
	16.6906
-17.5327	ROI
	-11.3699
	12.3017

Advanced

Search Reset

Number of results per page 20

5000 km  
2000 mi

136.00000, 178.51852

Version 2.2.1-20180225 About us Terms of use Privacy policy Feedback Hosted by VITO

- S'enregistrer via « Register »
  - Bien noter son « user name » et « password »
  - Finaliser la procédure d'enregistrement

- Une fois inscrit, se loguer : bouton « Login » en haut à droite
- Définir les critères de recherche d'images :
  - Taper « Senegal » + Go dans le menu de recherche géographique pour définir le ROI du Sénégal
    - (ou une zone un peu plus large pour avoir une marge autour du Sénégal, pour un meilleur style des cartes ?)
  - Collection : « NDVI 1km V2.2 Global »
  - Date : depuis le 01/04/1998 jusqu'à maintenant
- Cliquer sur « Search »
- Arriver sur la page présentant les images correspondant aux critères de recherche
  - 774 produits disponibles le 5/10/2019
  - Nombre d'images en détail :
    - 1998 : à partir de 19980401 =  $9 * 3 = 27$  images
    - 1999-2018 =  $20 * 36 = 720$  images
    - 2019 : jusqu'à 20190921 =  $9 * 3 = 27$  images
    - **TOTAL : 774 images**

**ATTENTION ! CONVENTION POUR LES NOMS DES IMAGES NDVI !**

**Remarquez que le nom des fichiers d'images NDVI contient l'information sur la période correspondante à l'enregistrement des valeurs présentes dans l'image (une décade, 10**

jours). Cette information est encodée comme suit :

- YYYYMMDD,
- par exemple 19980401,
- où les 4 premiers chiffres correspondent à l'année, les 2 suivants au mois et les 2 derniers à la décade 1, 2 ou 3 du mois sous le format 01, 11, 21 respectivement.

Cette convention reste valide pour l'ensemble de l'exercice, y compris dans le logiciel SPIRITS.

The screenshot shows the Copernicus Global Land Service interface. On the left, a map of Senegal is displayed with a red box highlighting the country. The right side of the interface shows a table of 774 products selected. The table has columns for 'Download', 'Product ID', 'Start Date', 'End Date', 'Size', 'Thumbnail', and 'Quicklook'. The first few rows of the table are as follows:

Download	Product ID	Start Date	End Date	Size	Thumbnail	Quicklook
<input checked="" type="checkbox"/>	NDVI_201909210000_GLOBE_PROBAV_V2.2.1	21/09/2019	30/09/2019	214.7 MB		
<input checked="" type="checkbox"/>	NDVI_201909110000_GLOBE_PROBAV_V2.2.1	11/09/2019	20/09/2019	217.7 MB		
<input checked="" type="checkbox"/>	NDVI_201909010000_GLOBE_PROBAV_V2.2.1	01/09/2019	10/09/2019	223.9 MB		

At the bottom of the interface, there are buttons for 'Back to search', 'Prepare custom order...', and 'Order now...'. The footer includes 'Version 2.2.1-20180225', 'About us', 'Terms of use', 'Privacy policy', 'Feedback', and 'Hosted by VITO'.

- Cliquer sur « Select all xxx products » pour sélectionner toutes les images (774 produits disponibles le 5/10/2019) (si tel est votre but)
- Cliquer sur « Prepare custom order... » 
- Paramétrer la fenêtre qui s'ouvre "Order item details" comme ci-dessous :
  - Description : comme vous voulez
  - Format : GeoTIFF
  - Coordinates = celles du Sénégal (automatique)
  - Bands : seulement « NDVI »

- Cliquer sur “Order now”
- Arriver à

#	Order item ID	Collection	Description	File format	Creation date	Size estimate	Nbr of produc
6	13879	Vegetation Indicators - NDVI 1km V2.2 Global	TOUT_NDVI_SENEGAL_1KM	GeoTIFF	06/10/2019	34.6 MB	774

- Choisir “FTP (PULL)”
- Cliquer sur “Submit” et arriver au tableau présentant le résumé des commandes effectuées avec la colonne “status” :
  - In production = votre commande est en préparation (il a fallu +/- 1h40 pour préparer une commande de 774 images NDVI 1km sur le Sénégal (sans time grid).
  - Completed = votre commande est prête pour être téléchargée

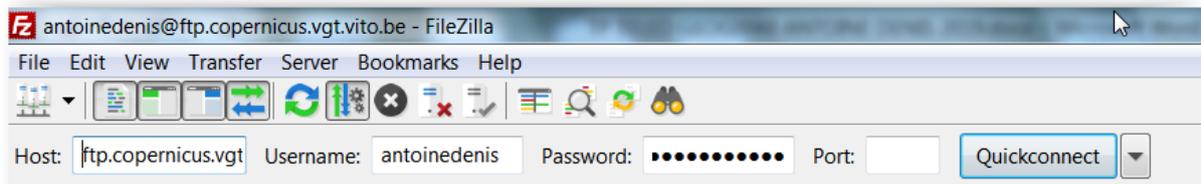
Name	Version	Description	Numb of items	Creation date	Last modified	Status
M0056539	v1	TOUT_NDVI_SENEGAL_1KM		06/10/2019	06/10/2019	In production

Une fois votre commande prête, vous recevrez **un email avec les instructions** à suivre pour le téléchargement.

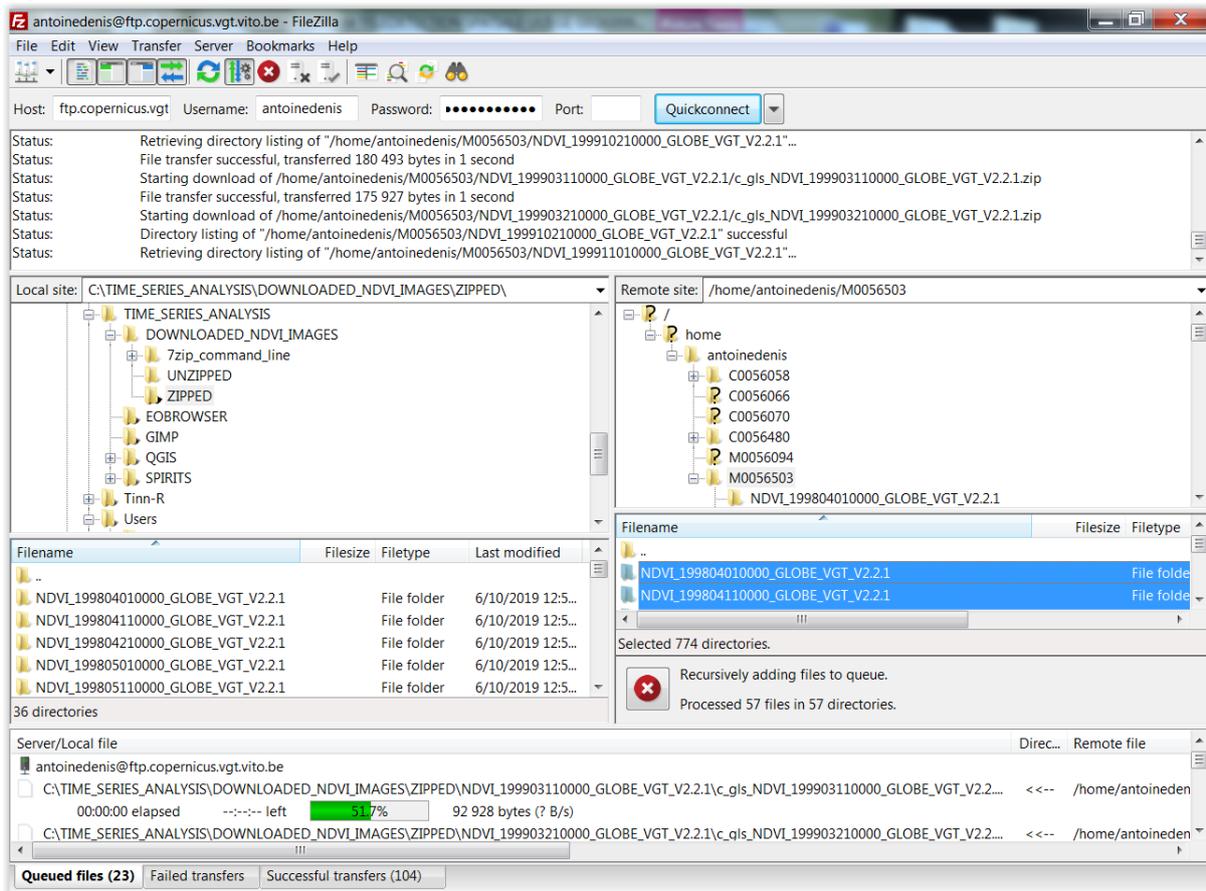
### 11.4.2. Téléchargement via « FileZilla Client » des images NDVI commandée

Lorsque votre commande est prête, les images peuvent être téléchargées via le logiciel « FileZilla Client ».

- Installer le logiciel « FileZilla Client », disponible ici <https://filezilla-project.org/>
- Ouvrir FileZilla Client et se connecter en indiquant comme:
  - **HOST** : <ftp.copernicus.vgt.vito.be>
  - **Username** : votre nom d'utilisateur créé dans le portail du « Copernicus Global Land Service »
  - **Password** : votre mot de passe créé dans le portail du « Copernicus Global Land Service »



- Télécharger les 774 images
  - depuis le serveur de données, à droite dans l'interface de Filezilla :
    - ouvrir le répertoire qui correspond au nom de votre commande que vous voulez télécharger et sélectionner, dans la partie inférieure droite de l'interface, tous les dossiers à télécharger
  - vers votre ordinateur, à gauche dans l'interface de Filezilla
    - ouvrir le répertoire dans lequel télécharger les images :
      - « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\DOWNLOADED\_NDVI\_IMAGES\ZIPPED\»
    - y faire glisser les images à télécharger : ceci lance le téléchargement
  - La longueur du téléchargement dépendra de la qualité de votre connexion internet : entre 2-3 minutes à plusieurs heures

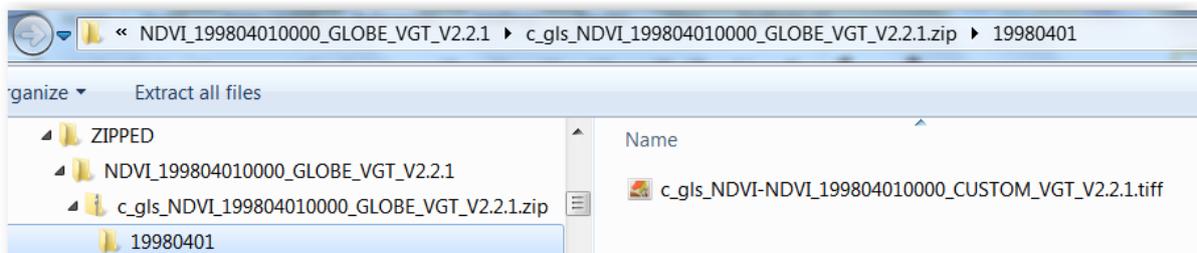


Les images téléchargées sont présentes dans le dossier « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\DOWNLOADED\_NDVI\_IMAGES\ZIPPED » :

- 774 dossiers contenant les images NDVI
- allant de 19980401 à 20190921
- 164 Mo

### 11.4.3. Dé-compression des images téléchargées

Les images téléchargées s'organisent comme dans la figure ci-dessous : 1 dossier par image, contenant lui-même un dossier compressé (zip), contenant lui-même un dossier nommé sur base de la date de l'image, contenant lui-même enfin l'image NDVI.tiff.



Pour pouvoir utiliser ces images, il faut les **décompresser ou dézipper**. Cela pourra se faire manuellement pour chaque image, mais cela prendrait beaucoup de temps.

Un **fichier de commande DOS** a été créé pour dé-zipper toutes les images en un seul clic. Ce fichier est dans le répertoire « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\DOWNLOADED\_NDVI\_IMAGES\ » et s'appelle « **UNZIP\_NDVI\_IMAGES.bat** ». Un fichier de commande est un simple fichier texte mais avec l'extension « .bat » ou « .cmd ». Il permet notamment d'exécuter des logiciels par ligne de commande.

- Ouvrir ce fichier avec un éditeur de texte :
  - clic droit > ouvrir avec > votre éditeur de texte, ou
  - clic droit > edit with Notepad++ (si Notepad++ n'est pas installé sur votre ordinateur, il est recommandé de l'installer : c'est un éditeur de texte pratique et performant. Disponible gratuitement ici : <https://notepad-plus-plus.org/downloads/> )

```
UNZIP_NDVI_IMAGES.bat
1 Rem : Script executable in DOS for unzipping in one clic all NDVI images downloaded from
2 Rem : https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Browse:Root=513186;Collection=1000085;Time=NORMAL
3
4 Rem : Before using this script:
5 Rem : - The "7zip" software in command line version (available here: http://www.7-zip.org/download.html) has to be plac
6 Rem : - The downloaded folders named like "NDVI_199804010000_GLOBE_VGT_V2.2.1" and containing the ZIPPED NDVI images ha
7 Rem : - The directory "%Directory%UNZIPPED\" has to exist ("Directory" refers to the variable define below)
8
9 Rem : ATTENTION ! DEFINIR LE REPERTOIRE DE TRAVAIL: MODIFIEZ LE REPERTOIRE CI-DESSOUS SELON LE REPERTOIRE QUE VOUS UTIL
10 SET Directory=C:\TIME_SERIES_ANALYSIS\DOWNLOADED_NDVI_IMAGES\
11
12 Rem : extraction with 7-zip software of the files named like for example "c_gls_NDVI-NDVI_199804010000_CUSTOM_VGT_V2.2.
13 "%Directory%7zip_command_line\7za920\7za.exe" e "%Directory%ZIPPED\*.zip" -o"%Directory%UNZIPPED\"
```

- Lire et comprendre le code.
- **Modifier éventuellement le code** de ce fichier de commande pour le faire correspondre à l'organisation de vos données dans vos répertoires sur votre ordinateur
- Ce fichier de commande utilise la version pour ligne de commande du logiciel de (dé-) compression de fichiers **7-zip**. Celui-ci peut être téléchargé ici :
  - <https://www.7-zip.fr/download.html>
    - **télécharger la version « 7-Zip en ligne de commandes »**

### Téléchargez 7-Zip 9.20 (17/11/2010) pour Windows:

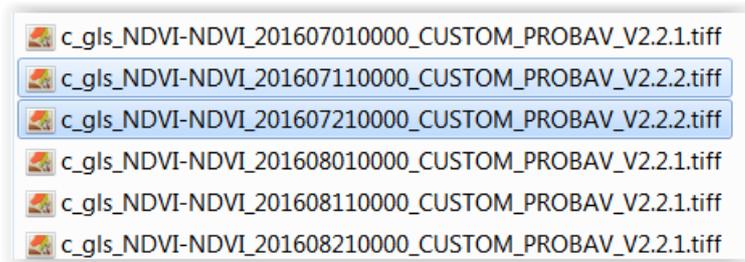
7-Zip 9.20 18/11/2010	Type	Windows	Description
<a href="#">Téléchargez</a>	.exe	32 bits x86	7-Zip
<a href="#">Téléchargez</a>	.msi	64 bits x64	
<a href="#">Téléchargez</a>		IA-64	
<a href="#">Téléchargez</a>	.exe	ARM	7-Zip for Windows Mobile / Windows CE (ARM)
<a href="#">Téléchargez</a>	<a href="#">.zip</a>	<a href="#">32-bit</a>	<a href="#">7-Zip en ligne de commandes</a>

- description des commandes (pour information) ici : <https://sevenzip.osdn.jp/chm/cmdline/commands/extract.htm>
- une fois téléchargé, le décompresser et le placer dans le répertoire voulu pour obtenir ceci :  
« C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\DOWNLOADED\_NDVI\_IMAGES\7zip\_command\_line\7za920\7za.exe » comme indiqué dans le fichier de commande

Une fois votre fichier de commande correctement paramétré, vos images et le logiciel 7-zip correctement placé dans vos répertoires,

- **Double-cliquer sur le fichier de commande « UNZIP\_NDVI\_IMAGES.bat »** pour l'exécuter, ce qui aura pour effet de décompresser toutes les images NDVI et de les placer dans le répertoire voulu, à savoir « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\DOWNLOADED\_NDVI\_IMAGES\UNZIPPED\ »
- **l'exécution prend moins d'une minute pour les 774 images**
- Attention, **vérifier le nombre d'images décompressées qui doit être égale à 774** dans ce cas. Il se peut que certaines images ait été mal téléchargées à partir de FileZilla sans pour autant recevoir un message d'erreur, et résulter en un dossier compressé corrompu non décompressable. Dans ce cas le nombre d'images décompressées sera inférieur au nombre attendu. Si tel est le cas, identifier les images manquantes et relancer le téléchargement + décompression.

**ATTENTION ! 2 images ont une structure de nom de fichier différente des autres, avec la mention « V2.2.2 » alors que tous les autres sont en « V2.2.1 »,** confer image ci-dessous.



Comme ceci peut provoquer un bug lors de l'importation dans SPIRITS (étape ultérieure), il faut :

- Renommer ces 2 images en remplaçant « V2.2.2 » par « V2.2.1 » dans les images copiées.

Remarquez aussi que :

- Les images SPOT-VEGETATION couvrent la période 19980401 jusque 20131221 (les images existantes de SPOT-VEGETATION pour 2014 ne sont pas mises à disposition).
- Les images PROBAV couvrent la période 20140101 jusqu'actuellement

→ Vos images décompressées sont prêtes pour être utilisées dans SPIRITS !

#### 11.4.4. Téléchargement des fichiers vectoriels shapefile

Le fichier des **pays du monde** peut être téléchargé sur Natural Earth :

- <https://www.naturalearthdata.com/downloads/>
  - Choisir « Cultural 10m »)

Le fichier des **départements du Sénégal**:

- Provient du projet « Alerte précoce et prévision des productions agricoles » (Ap3A) du Centre Régional Agrhymet (CRA) à Niamey, Niger
- Il contient 35 départements
- *(Remarque : ce fichier shapefile contient plusieurs polygones différents pour 2 départements : Dakar (2 = 1 contient + 1 île) et Foundiougne (5 = continent + 4 îles) et ces polygones sont repris comme autant d'enregistrements dans la table d'attributs du shapefile. Cela n'est pas idéal car cela va générer des statistiques différentes pour ces différentes entités, sauf si elles sont trop petites que pour être reprises dans l'image rastérisée des départements (confer plus bas). Il conviendrait de soit les supprimer (si entités petite et négligeable), soit créer un « polygone multiple » c'est-à-dire un enregistrement unique dans la table d'attributs qui correspond à plusieurs polygones.)*

## 11.5. Aperçu des données dans QGIS (facultatif)

Installer QGIS : confer <https://qgis.org/fr/site/>

Ouvrir les données dans QGIS et voir à quoi elles ressemblent.

## 11.6. Utilisation de SPIRITS

Les indications reprises dans cette section se basent en partie sur les documents suivants:

- Manuel officiel de SPIRITS
- Tutorial officiel de SPIRITS
- Document pédagogique réalisé par Abdoul-Hamid MOHAMED SALLAH

### 11.6.1. Téléchargement et installation de SPIRITS

Spirits est un logiciel développé par le JRC pour l'analyse de séries temporelles d'images basse résolution de différents types.

**! SPIRITS (logiciel, manuel et tutorial officiels) a déjà été téléchargé et décompressé pour vous et se trouvent dans le dossier "C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\" ».**

SPIRITS peut être **téléchargé gratuitement ici** :

- <https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/download.php>
- Version 1.5.2, February 2018.
- Est disponible également à cette adresse un jeu de données exemple qui est utilisé dans le tutoriel officiel (non fourni dans le cadre de ce cours étant donné le volume de ce jeu de données)

Une fois SPIRITS téléchargé, il n'y a **pas de procédure d'installation**. Il suffit de le **décompresser** à l'endroit voulu.

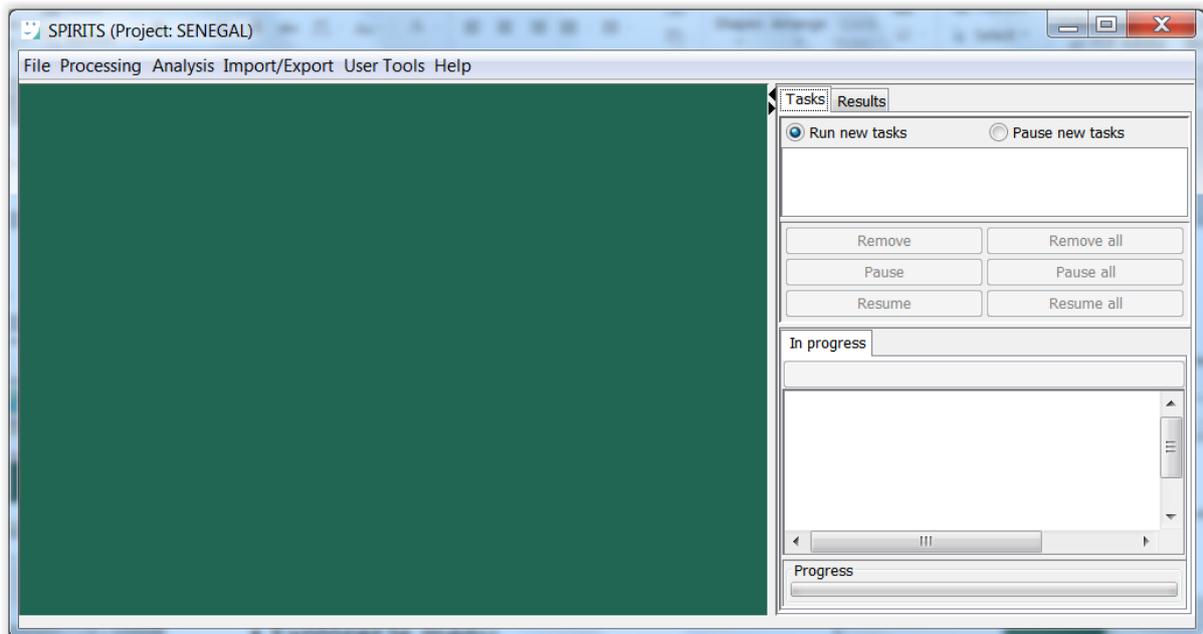
**"Important note: SPIRITS requires a Java virtual machine (JVM) to run. If not already installed, users can download Java version 1.7 or higher."** Java peut être téléchargé gratuitement via le lien ci-dessous. Après téléchargement, installez JVM.

- <https://www.java.com/fr/download/>

### 11.6.2. Démarrage de SPIRITS et découverte de l'interface

Pour démarrer SPIRITS :

- Double cliquer sur « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SpiritsExtract\_152\Spirits.jar » et attendre quelques secondes
- (Remarque : si « Spirits.jar » n'était pas associé au bon programme de lancement par défaut, et ne s'ouvrirait donc pas correctement, il faut associer « spitis.jar » à « javaw.exe » qui peut probablement être trouvé dans un répertoire ressemblant à ceci : « C:\Program Files\Java\jre1.8.0\_171\bin\javaw.exe ».)



### 11.6.3. Création d'un projet SPIRITS

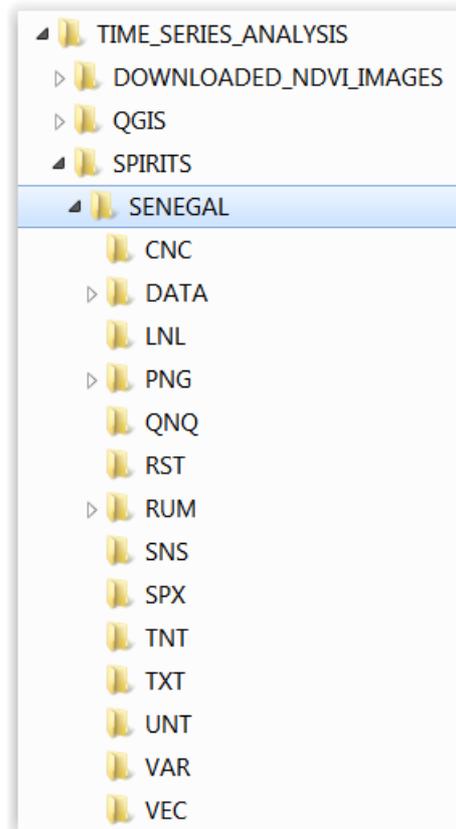
Pour créer un projet SPIRITS :

- « File > Projects > Select > » puis spécifier le répertoire « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL »
  - Cela a pour effet de créer le dossier « SpiritsProjectData » dans le répertoire « SENEGAL ». Ce dossier contient une série d'information relative à ce projet SPIRITS.
  - Cette commande « Select » peut aussi être utilisée pour sélectionner un projet pré-existant

Le répertoire à utiliser pour cet exercice dans SPIRITS est le répertoire :

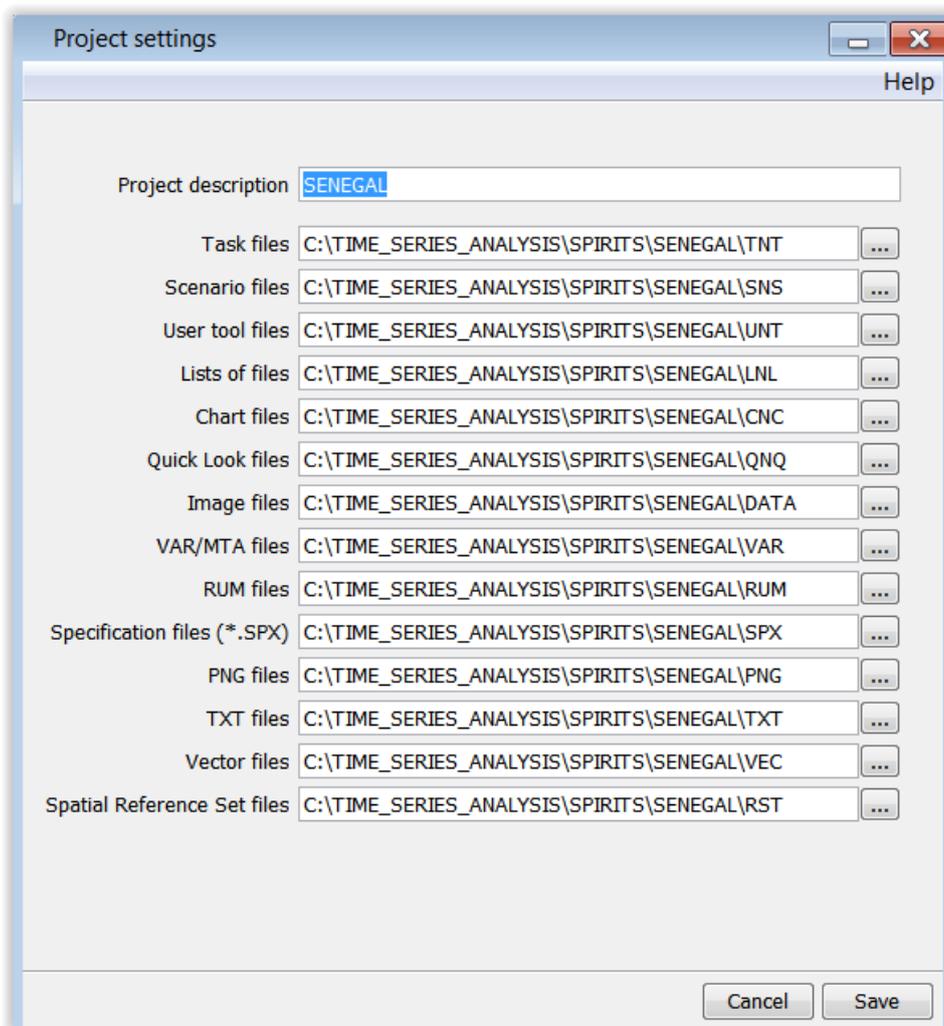
**“C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\”**

Il contient un ensemble de sous-dossiers qui renfermeront chacun un type de fichiers ayant une utilité spécifique dans SPIRITS.



**Pour paramétrer correctement votre projet SPIRITS :**

- « File > Projects > Define > »
  - Adapter les répertoires comme dans l'image ci-dessous



Abréviation	Nom des fichiers	Fonction
TNT	Task files	Permet d'exécuter un scénario (.SNS) sur une période donnée
SNS	Scenario files	Contient la paramétrisation nécessaire pour effectuer une action (ex : importation des fichiers avec certaines valeurs des paramètres de cette fonction)
UNT	User Tool files	/
LNL	List of files	Dossier contenant des fichiers texte contenant des listes de fichiers... Liste de quoi... ? Utile pour... ?
CNC	Chart files	Dossier contenant des templates de graphiques
QNQ	Quick Look files	Dossier contenant les « map template » ou mise en page de carte prédéfinie
DATA	Image files	Dossier contenant les images NDVI avec 1 sous-dossier par traitement (importation, lissage temporel,...)
VAR	VAR/MTA files	/
RUM	RUM files	RUM veut dire: "Regional and Unmixed Mean values" et désigne les valeurs qui sont extraites des images par région, par exemple

		la valeur moyenne du NDVI par zone d'intérêt (ex : par département du Sénégal).
SPX	Specification files (*.SPX)	Paramétrage aditionel de certaines fonctions
PNG	PNG files	Dossier contenant des images n'étant pas les images satellites analysées: <ul style="list-style-type: none"> <li>• cartes produites</li> <li>• graphique</li> <li>• logo et autres illustrations à faire apparaitre sur une carte</li> <li>• ...</li> </ul>
TXT	TXT files	Dossier contenant des fichiers texte. Par exemple les fichiers utilisés pour définir la structure de la base de données qui accueillera les statistiques calculées.
VEC	Vector files	Dossier contenant les fichiers vectoriels (shapefile) utilisés pour la mise en page cartographique ou fichiers devant être rastérisé pour l'extraction de statistiques.
RST	Spatial Reference Set files	Dossier contenant les régions d'intérêts rastérisées (en format raster) car SPIRITS a besoin de ce format raster pour pouvoir faire l'extraction.

#### 11.6.4. Importation des images dans SPIRITS et conversion de leur format

SPIRITS a besoin d'images en format « ENVI » (fichier image « .img » + fichier entête « .hdr »). Il faut donc **convertir les images téléchargées, actuellement en format « .tif » vers le format « ENVI »**. Pour ce faire, utiliser le menu :

- « **Import/Export > Import > Generic importer > Scenario >** »

Il faut **créer 2 scénario** différents car les noms des images SPOT VGT (1998-2013) et PROBA-V (2014-2019) ne sont pas les mêmes :

 c\_gls\_NDVI-NDVI\_201401010000\_CUSTOM\_PROBAV\_V2.2.1.tiff  
 c\_gls\_NDVI-NDVI\_201401010000\_CUSTOM\_VGT\_V2.2.1.tiff

- **Ensuite :**
  - **Soit, créer 2 scénarios** comme dans l'image ci-dessous. La partie de l'interface non montrée (...) peut rester vide.
  - **Soit, pour aller plus vite ouvrir le scénario pré-enregistré pour vous via la commande « File > Open > »** de la fenêtre « Generic Import Scenario » et choisir le scénario suivant :
- Noms des scénarios :
  - Nom du scenario pour importer les images SPOT VEGETATION:
    - **“IMPORT\_and\_CONVERT\_VGT\_tiff\_to\_img\_ENVI.sns”**

- Nom du scenario pour importer les images PROBA-V:
  - **“IMPORT\_and\_CONVERT\_PROBAV\_tiff\_to\_img\_ENVI.sns”**
- La seule différence entre ces 2 scénarios se situe au niveau du suffixe des « input files ».
- Par convention, pour l’output :
  - Préfixe = cglS (= Copernicus Global Land Service)
  - Suffixe = i (=NDVI)
- Une partie des infos de la rubrique « Spectral » peuvent être trouvée sur la page <https://land.copernicus.eu/global/products/ndvi> présentée précédemment :

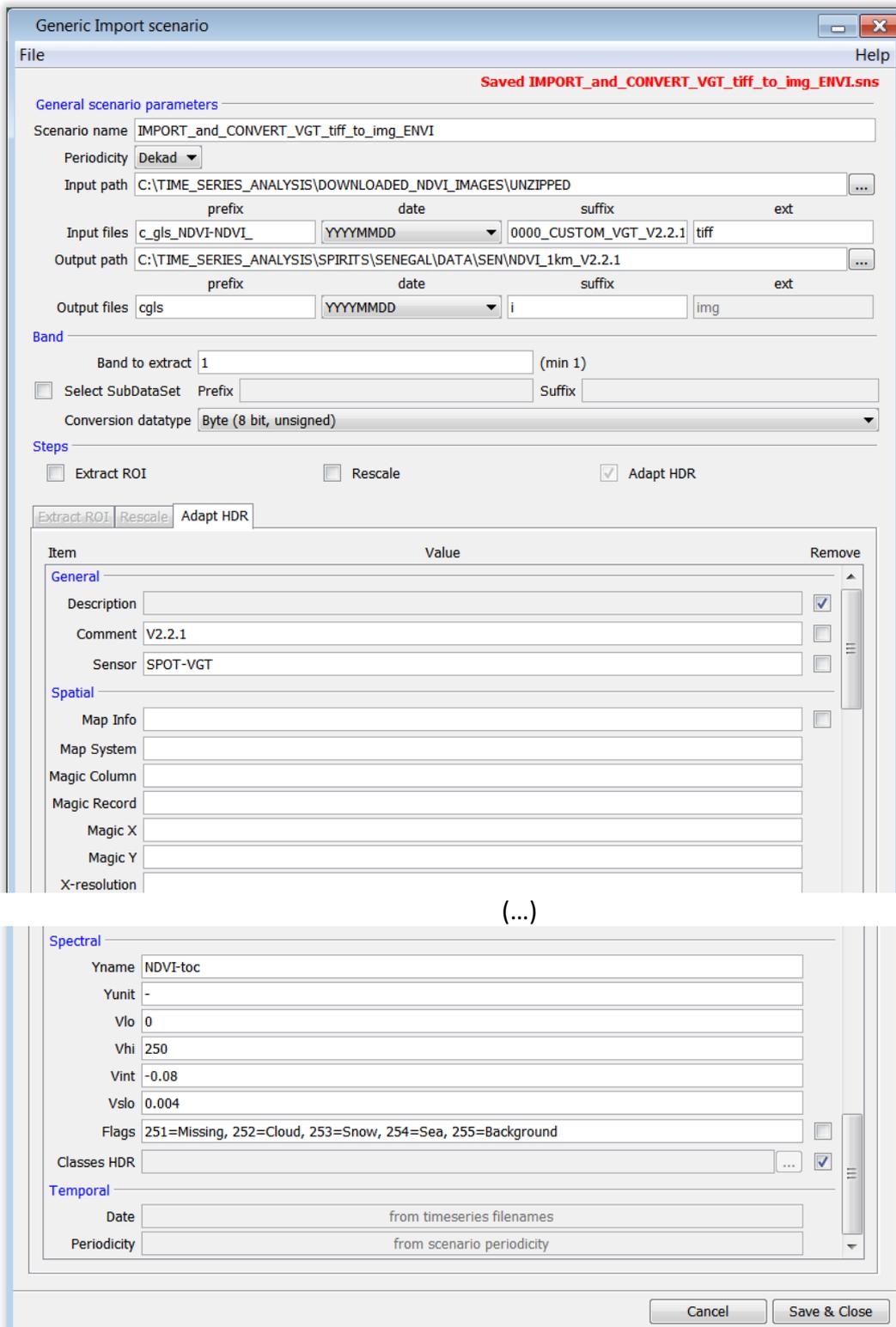
Website	SPIRITS : Generic import scenario	Signification
PHYSICAL MIN = -0.08 → DIGITAL MIN = 0  DIGITAL MAX = 250	Vlo et Vhi	Plus petite et plus grande valeurs de DN dans la gamme de valeurs significatives (en dehors de cette gamme, ce sont des « Flags » (confer plus bas))
Offset = -0.08	Vint : scaling intercept	Intercepte dans la formule de conversion des DN en NDVI
Scaling : 1/250 = 0.004	Vslo : scaling slope	Pente dans la formule de conversion des DN en NDVI
Specific values	Flags	Valeurs codes utilisées pour spécifier une donnée manquante ou mauvaise, la présence de nuage, ombre, neige, glace, mer, océan, etc

**Data file content:**  
Version 2:  
The physical values (PV) are derived from the digital number (DN) using the relation:  $PV = \text{Scaling} * DN + \text{Offset}$

LAYER NAME	DESCRIPTION	PHYSICAL UNIT / CLASSES	PHYSICAL MIN	PHYSICAL MAX	DIGITAL MAX	SCALING	OFFSET
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	-	-0.08	0.92	250	1/250	-0.08
TIME_GRID	Time of observation	Minutes since start of synthesis	0	18720	18720	1	0

Some specific values are used for the NDVI layer: 251 for missing (bad radiometry), 252 for cloud/shadow pixels, 253 for snow/ice, 254 for sea pixels and 255 for background (missing input data).

**NDVI = SCALING \* DN + OFFSET**  
**NDVI = 1/250 \* DN - 0.08**  
**NDVI = 0.004 \* DN - 0.08**  
**Par exemple : 0.32 = 0.004 \* 100 - 0.08**



(...)

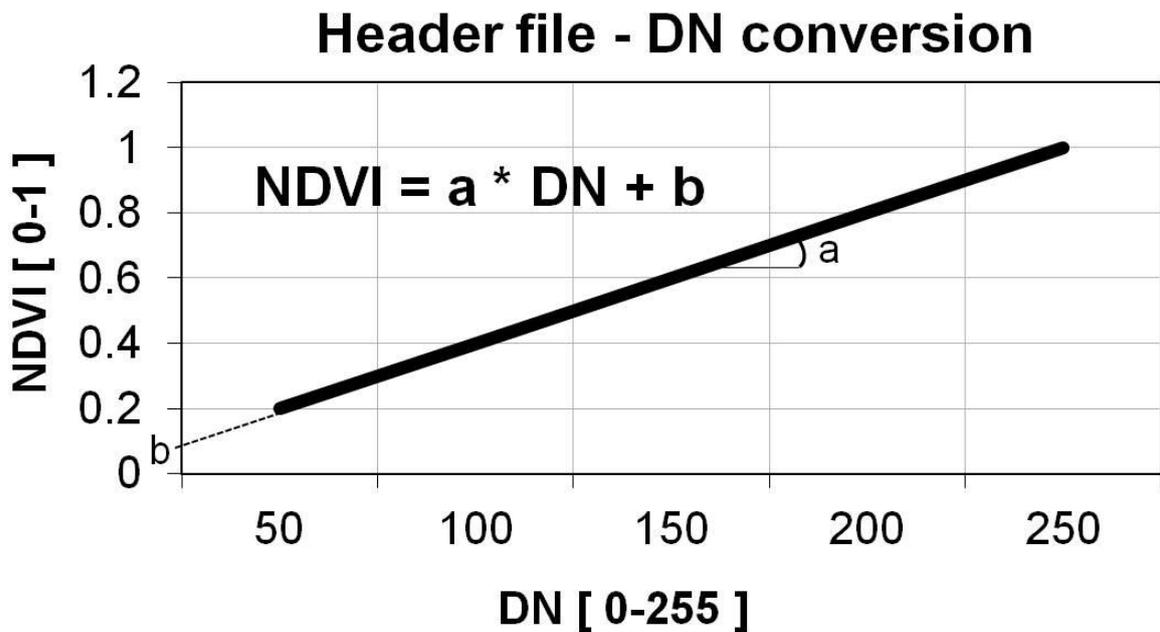
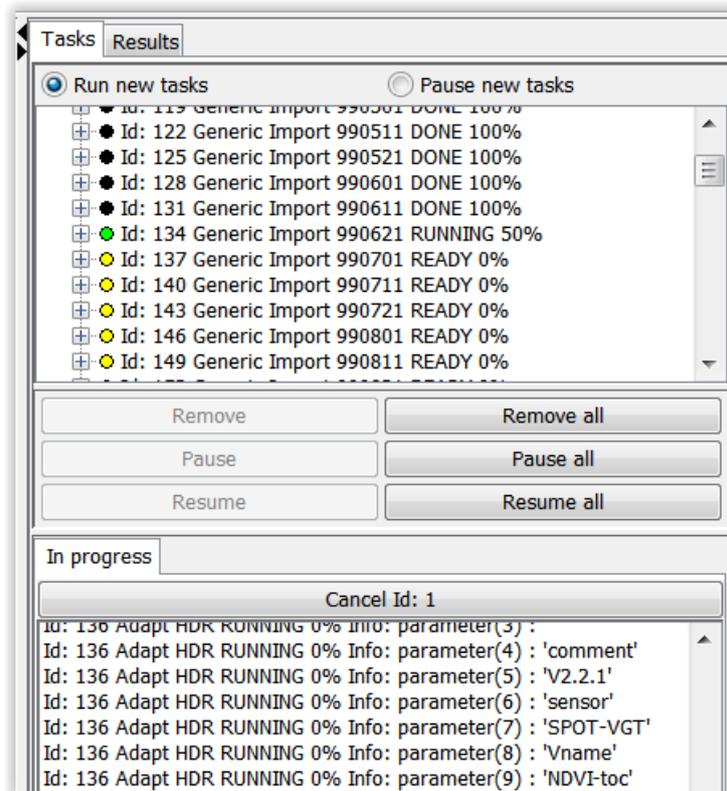


Figure 197 : Principe de la conversion des DN (Digital Number des pixels) en valeurs de NDVI

- Sauver le scénario (ou File > Save as)
  
- Importer et convertir les images en utilisant les 2 scénarios créés ci-dessus :
  - « **Import/Export > Import > Generic importer > Time series >** »
    - Soit
      - ouvrir les scénarios préétablis (confer ci-dessus)
      - préciser les dates de début et de fin pour l'exécution de chaque scénario
        - SPOT-VGT : 19980401 jusque 20131221 (9 minutes)
        - PROBA-V : 20140101 jusque 20190921 (3 minutes)
    - Soit, pour aller plus vite, ouvrir les Task files (TNT) correspondant pré-enregistrés pour vous :
      - « **GENERIC\_IMPORT\_SPOT\_VGT\_1998\_2013.tnt** »
      - « **GENERIC\_IMPORT\_PROBAV\_2014\_2019.tnt** »
  - Exécuter

Le panneau des tâches s'active et il est possible de suivre l'avancement de l'importation.

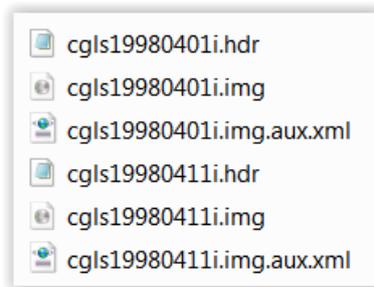


- Après exécution de l'importation, **vérifier que l'exécution s'est opérée correctement** :
  - Via l'onglet « **Results** »
    - point noir : OK
    - point rouge : ERROR
  - Via le **nombre de fichiers** présents dans le dossier dans lequel les images ont été importées (dossier « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\NDVI\_1km\_V2.2.1 »)
    - **774 images \* 3 fichiers/image = 2322 fichiers** doivent être présents

→ La série complète d'images NDVI a été importée dans SPIRITS dans le format ENVI. Elle se trouve dans le répertoire « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\NDVI\_1km\_V2.2.1 ».

Chaque image est composée d'un triple fichier :

- img : l'image en tant que telle
- hdr : fichier en-tête, fichier texte nécessaire dans le format ENVI (confer image ci-dessous). il contient les informations nécessaires à la bonne lecture du fichier dans SPIRITS.
- xml : métadonnées



```

1 ENVI
2 description = {}
3 samples = 690
4 lines = 492
5 bands = 1
6 header offset = 0
7 file type = ENVI standard
8 data type = 1
9 interleave = bsq
10 byte order = 0
11 map info = {Geographic Lat/Lon, 1, 1, -17.5401786, 16.6919643, 0.00892857143, 0.00892857143, WGS-84}
12 coordinate system string = {GEOGCS["GCS_WGS_1984",DATUM["D_WGS_1984",SPHEROID["WGS_1984",6378137,298.25]
13 values = {NDVI-TOC, -, 0, 250, 0, 250, -0.08, 0.004}
14 flags = {251=Missing, 252=Cloud, 253=Snow, 254=Sea, 255=Background}
15 date = 19980401
16 days = 10
17 sensor type = SPOT-VGT
18 comment = {V2.2.1}
19 program = {HDRadapt.exe (V1208/1403)}
20

```

La description détaillée du « **header file** » est faite dans le manuel officiel de SPIRITS à la page 21.

En particulier, il est important de bien comprendre la signification de la ligne « values » : confer image ci-dessous :

Values = {	$V_{name}$	Name of physical variable Y (e.g. reflectance, temperature, class,...)
	$V_{unit}$	Dimension of physical variable Y (% , °C, kg/ha/day, -, ...)
	$V_{lo}$	Lowest/highest digital value of significant range (values beyond $V_{lo}/V_{hi}$ are flags)
	$V_{hi}$	
	$V_{min}$	Lowest/highest significant value which really occurs in this IMG
	$V_{max}$	NB: $V_{lo} \leq V_{min} \leq V_{max} \leq V_{hi}$
	$V_{int}$	Intercept/slope of linear scaling: physical $Y = V_{int} + V_{slo} \cdot V$
	$V_{slo}$ }	NB: This scaling only applies to the significant range

### 11.6.5. Visualisation d'une série d'images NDVI

Une fois les images importées, SPIRITS peut facilement effectuer toutes sortes de traitements sur l'ensemble des images.

Dans un premier temps, vous allez visualiser vos images via la création en chaine (automatique) de carte pour chaque image.

### 11.6.5.1. Création d'un « map template » ou template de carte (QNQ)

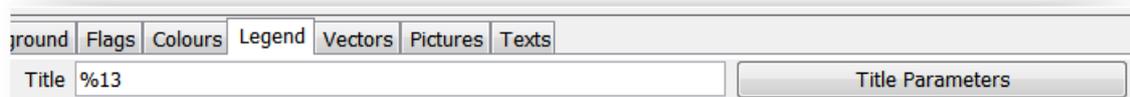
Pour créer des cartes en chaine, il faut d'abord créer un « map template », c'est-à-dire une mise en page cartographique. Elle pourra être ensuite utilisée pour l'ensemble des images.

- **Analysis > Maps > Create Template**

Pour gagner du temps, ouvrez un map template préalablement préparé pour vous :

- **File > Open > naviguer vers « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\QNQ\Map\_SEN\_NDVI\_SIMPLE.qnq »**

- Explorez et comprenez les différents paramètres de mise en page cartographique.
  - Faites éventuellement l'une ou l'autre modification, et, le cas échéant, sauvegardez votre nouveau map template via le menu :
    - **File > Save as > naviguer vers « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\QNQ\Map\_SEN\_TEMPLATE\_VOTRE\_NOM.qnq »**
  - Remarque :
    - Les **éléments de texte** à faire apparaître dans le titre ou ailleurs sur la carte (onglet « text ») et comme titre de la légende (onglet « legend > Title ») peuvent utiliser des variables dont les codes sont expliqués dans l'onglet « legend » via le bouton « Title parameters » (par exemple pour faire apparaître la bonne date ou le bon capteur sur chaque carte)



### 11.6.5.2. Production d'une série de cartes à partir d'un « map template »

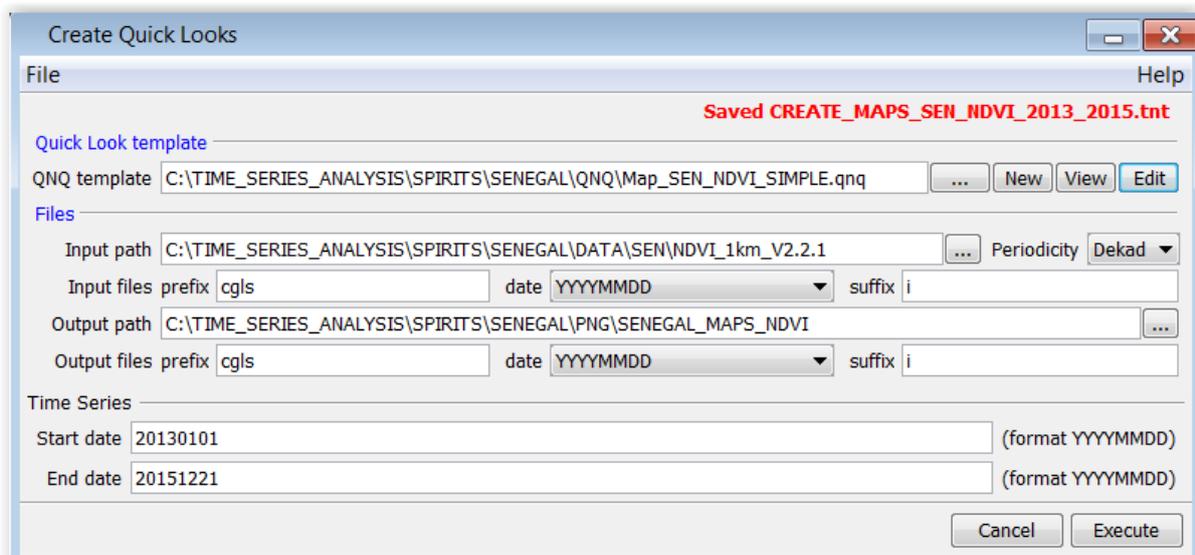
Une fois le « map template » réalisé, il peut être utilisé pour produire une série de carte automatiquement. Pour ce faire :

- **Analysis > Maps > Maps Series > Time series**

La fenêtre «**Create Quick Look**» s'ouvre

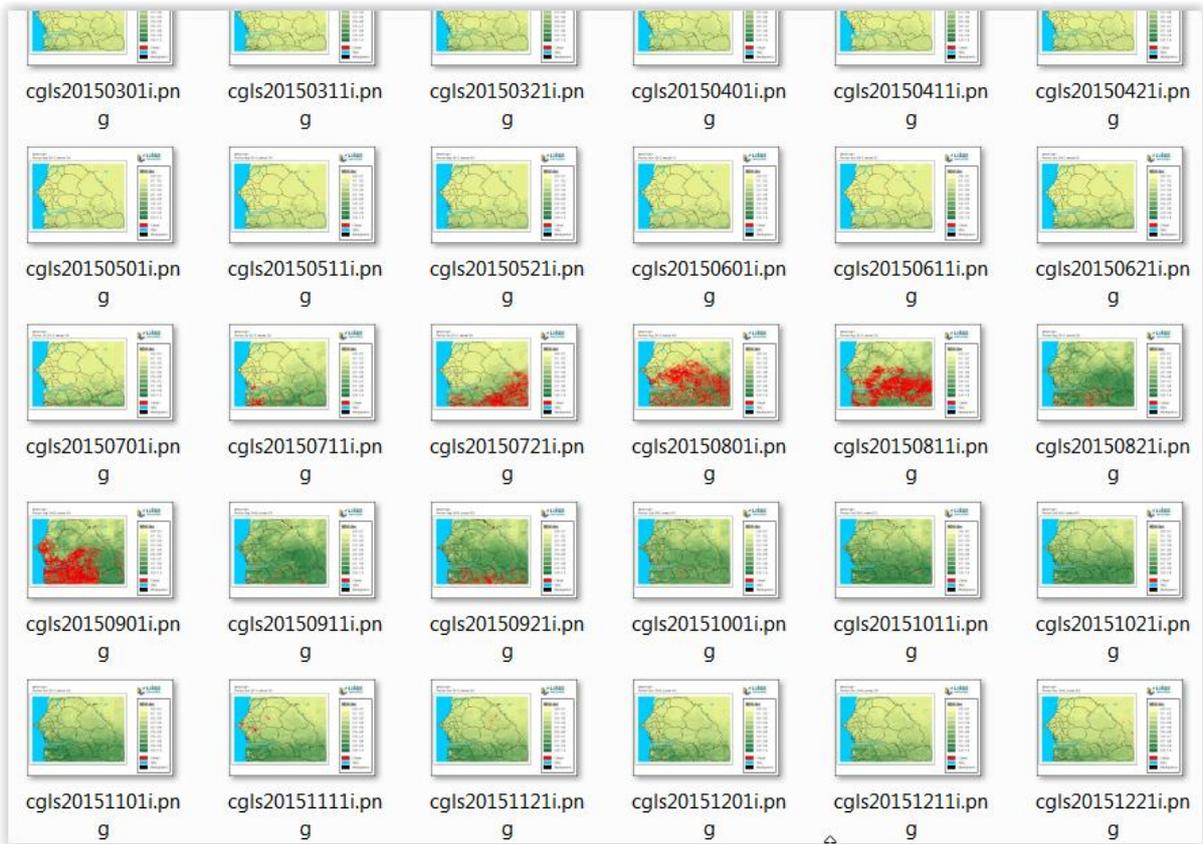
- Soit paramétrez la fenêtre comme vous voulez en réutilisant le map template (QNQ) créé dans la section précédente et sauvegarder cette tâche comme un nouveau « task files » (TNT)
- Soit, pour gagner du temps, **ouvrez le TASK FILES (TNT) « CREATE\_MAPS\_SEN\_NDVI\_2013\_2015.tnt »** préalablement créé pour vous. Modifiez éventuellement les dates de début et de fin selon la période pour laquelle vous voulez produire des cartes (et dans ce cas, sauvegardez votre nouveau TNT (File > Save as)).

- Cliquer sur « Execute » pour produire la série de cartes.

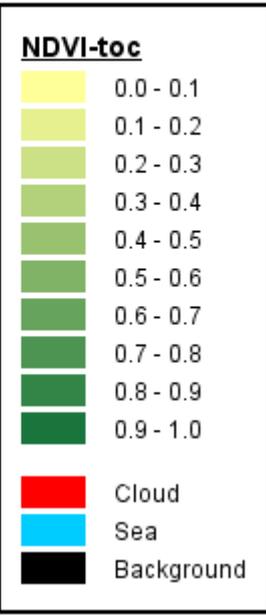
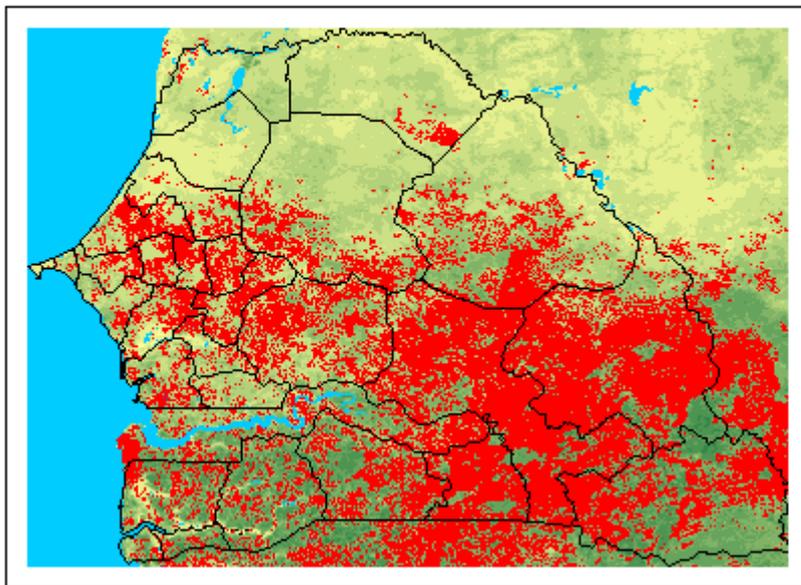


Après exécution de la création de cartes en série, **vérifier que l'exécution s'est opérée correctement** :

- Via l'onglet « **Results** »
  - point noir : OK
  - point rouge : ERROR
- Via le **nombre de fichiers** présents dans le dossier dans lequel les cartes ont été créées (dossier « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\PNG\SENEGAL\_MAPS\_NDVI »)
- Visualisez les cartes produites dans le répertoire de sortie « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\PNG\SENEGAL\_MAPS\_NDVI »
  - **Faire défiler rapidement toutes les images** dans un visionneur d'images (ex : Microsoft Office Picture Manager) afin de visualiser une animation montrant l'évolution des conditions de végétation sur la zone étudiée.
  - Remarque : il est possible de créer une **animation au format GIF via le logiciel GIMP**, par exemple pour mettre sur un site web (confer la fin de la section 6.2).



SPOT-VGT  
 Period: Aug 2013, dekad 1/3

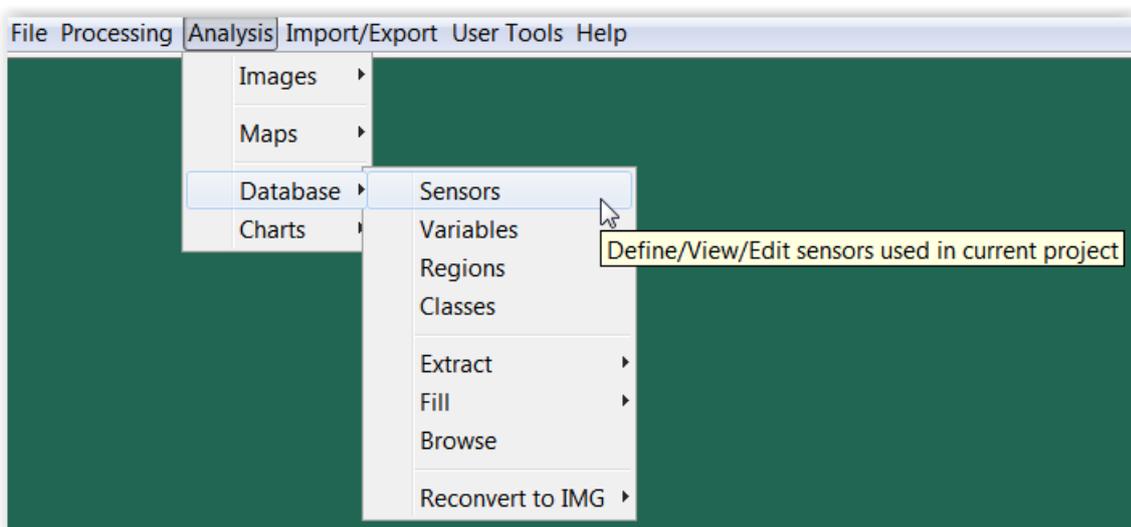


## 11.6.6. Extraction de statistiques à partir des images NDVI

### 11.6.6.1. Création de la structure de la base de données

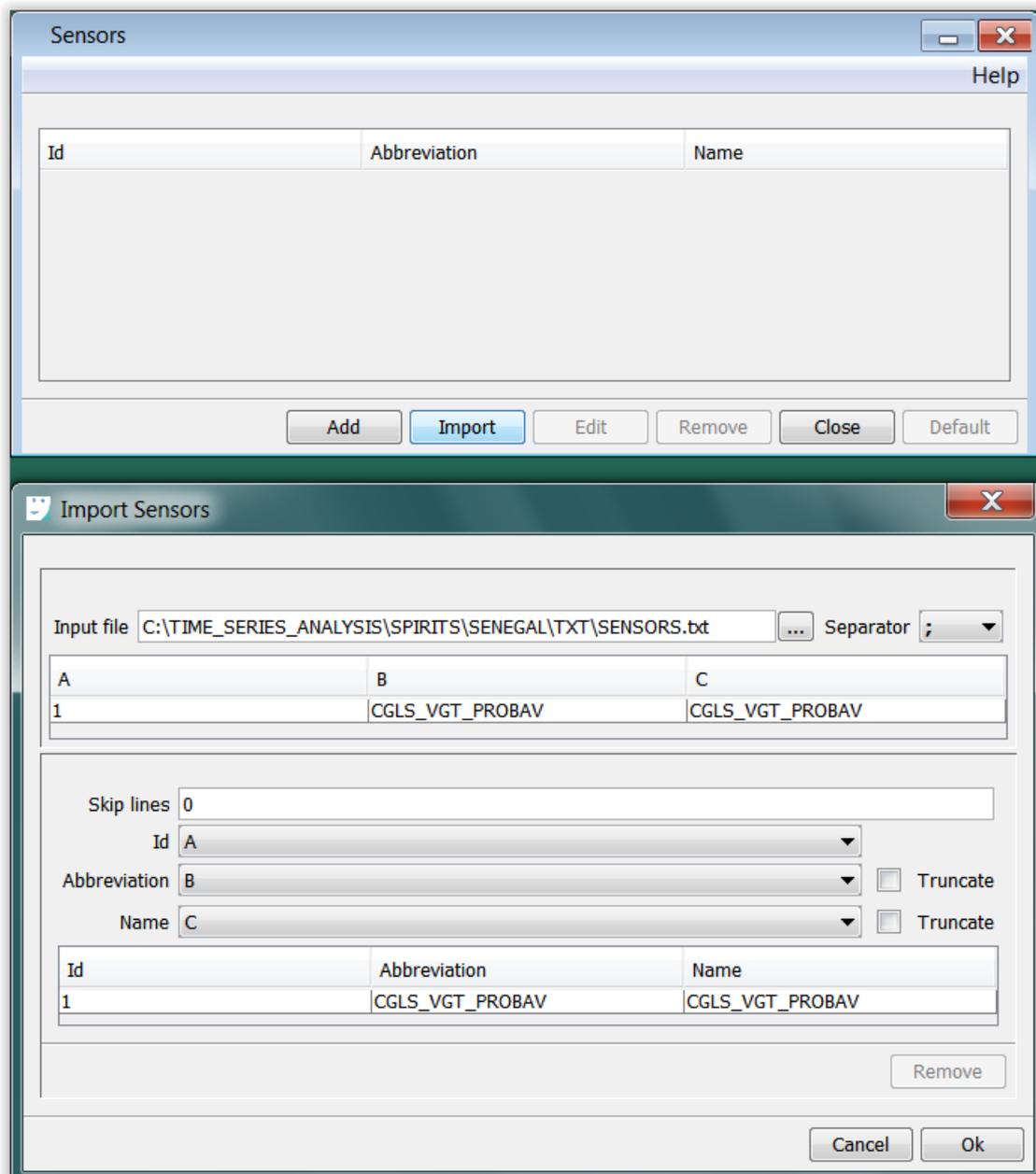
Avant de pouvoir extraire des statistiques à partir de l'image, il faut définir quelques variables de la base de données qui sera produite. Pour ce faire, utiliser les menus suivants :

- **Analysis > Database > (confer image ci-dessous)**
  - **Sensors >:**
  - **Variable >:**
  - **Regions >:**
  - **Classes >:**



Pour « SENSORS » :

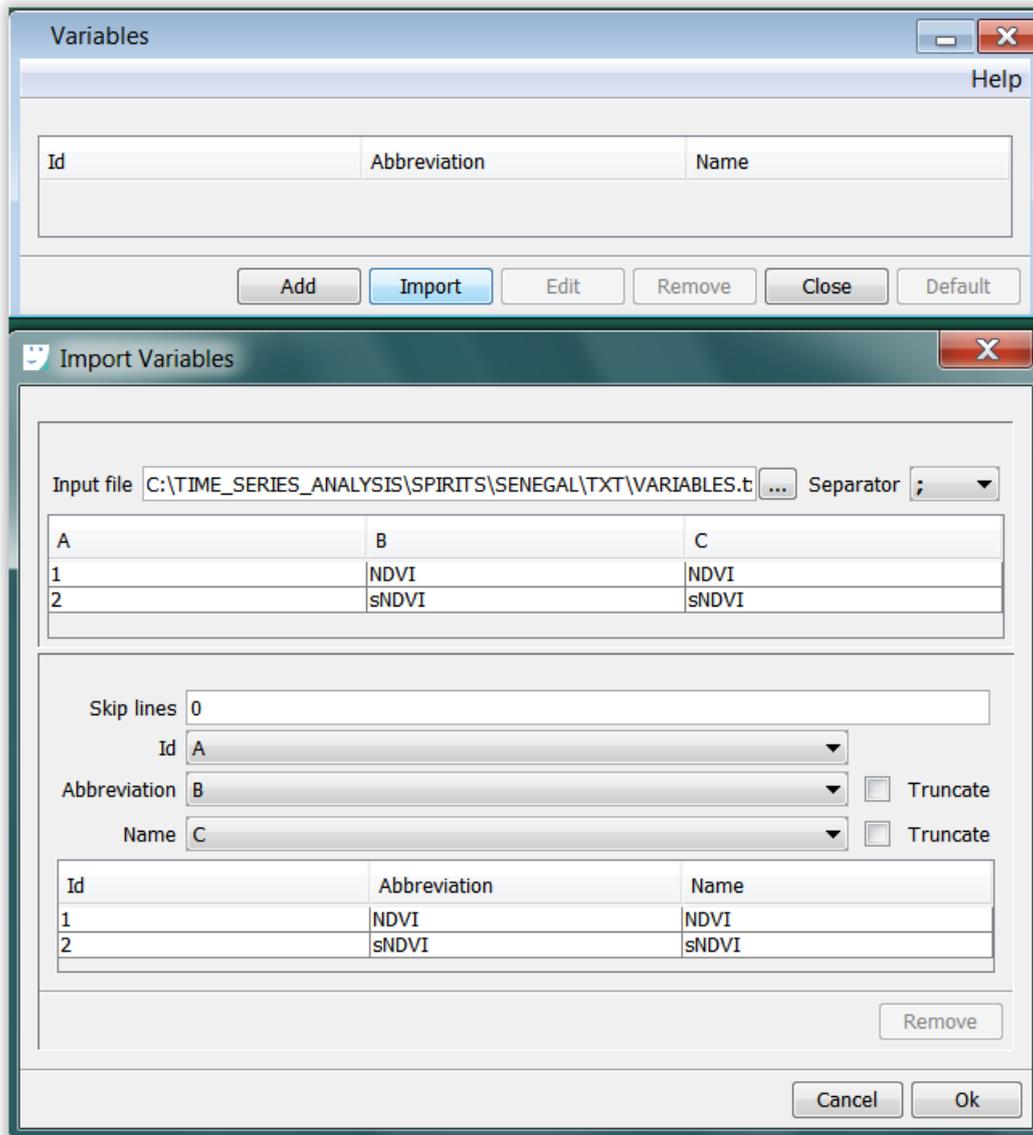
- Soit ajouter manuellement les 3 informations demandées (confer image ci-dessous)
- **Soit importer le fichier texte préalablement fait pour vous** contenant ces informations.
  - Il se trouve dans le répertoire **« C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\TXT\SENSORS.txt »**
  - Attention à bien paramétrer l'importation !
  - comme dans ce cas-ci il s'agit d'un mélange de 2 capteurs (SPOT VGT et PROBAV) il sera indiqué « CGLS\_VGT\_PROBAV »



**Pour « VARIABLES » : définir 2 variables :**

- Soit ajouter manuellement les 3 informations demandées pour chaque variable (confer image ci-dessous)
- Soit importer le fichier texte préalablement fait pour vous contenant ces informations.
  - Il se trouve dans le répertoire « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\TXT\VARIABLES.txt »
- Attention à bien paramétrer l'importation !
  - NDVI = NDVI « normal »
  - sNDVI = NDVI ayant subi un lissage temporel (ceci sera expliqué dans la section 11.6.7 page 373)

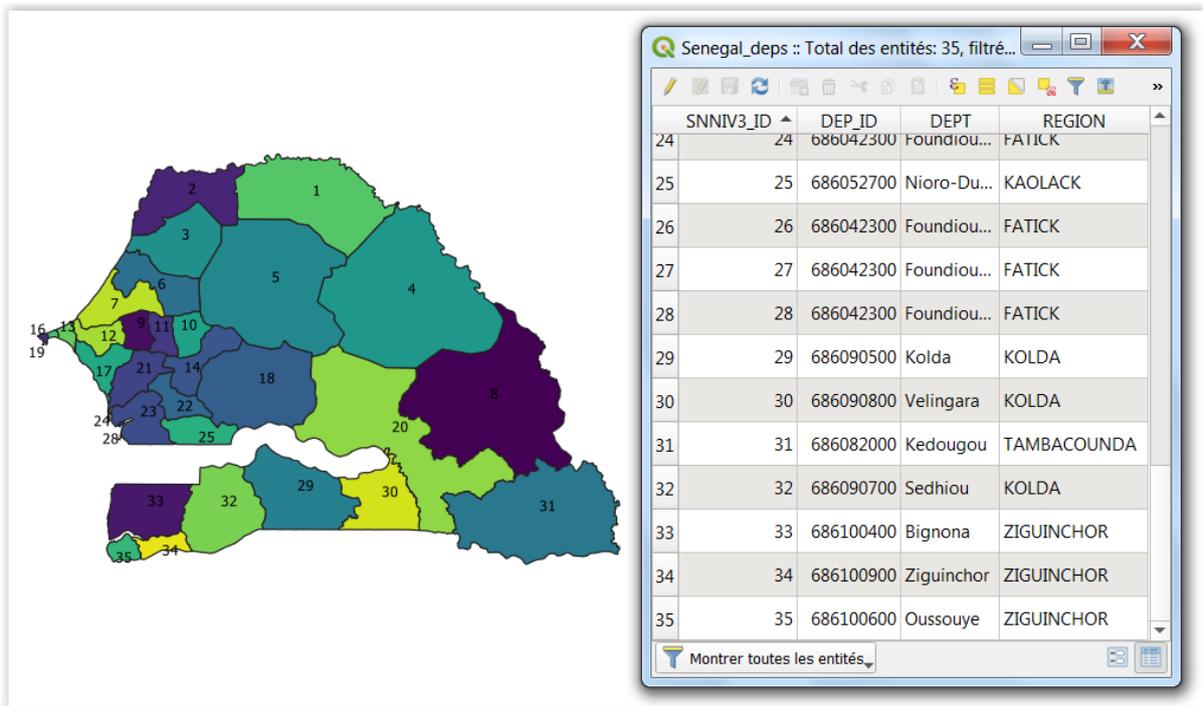
- Les autres variables déjà présentes dans ce fichier texte correspondent à des variables phénologiques et seront utilisées ultérieurement (confer section 11.6.9 page 386 et suivantes)



**Pour « REGIONS » :**

- Pas possible d'importer de « Regions sets » → faire un ajout manuel (confer image ci-dessous). Ceci correspond à la région générale : on lui donne un nom.
- Importer ensuite les « Regions in Regions set » à partir du shapefile des départements du Sénégal qui est dans le dossier « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\VEC\Senegal\_deps.shp »
  - Confer le paramétrage dans l'image ci-dessous
  - Ceci correspond aux sous-régions dans la région générale : on indique à quoi correspondent les régions qui seront utilisées pour l'extraction de statistiques : on leur donne des noms.

- Notez que la colonne du shapefile appelée « SNNIV3\_ID », qui varie de 1 à 35 et qui identifie chacun des départements du Sénégal par un identifiant unique, est utilisée comme identifiant des régions dans la base de données.



**Figure 198 : Aperçu du shapefile sur le Sénégal et sa table d'attributs avec 35 départements avec les identifiants de 1 à 35 dans la colonne « SNNIV3\_ID »**

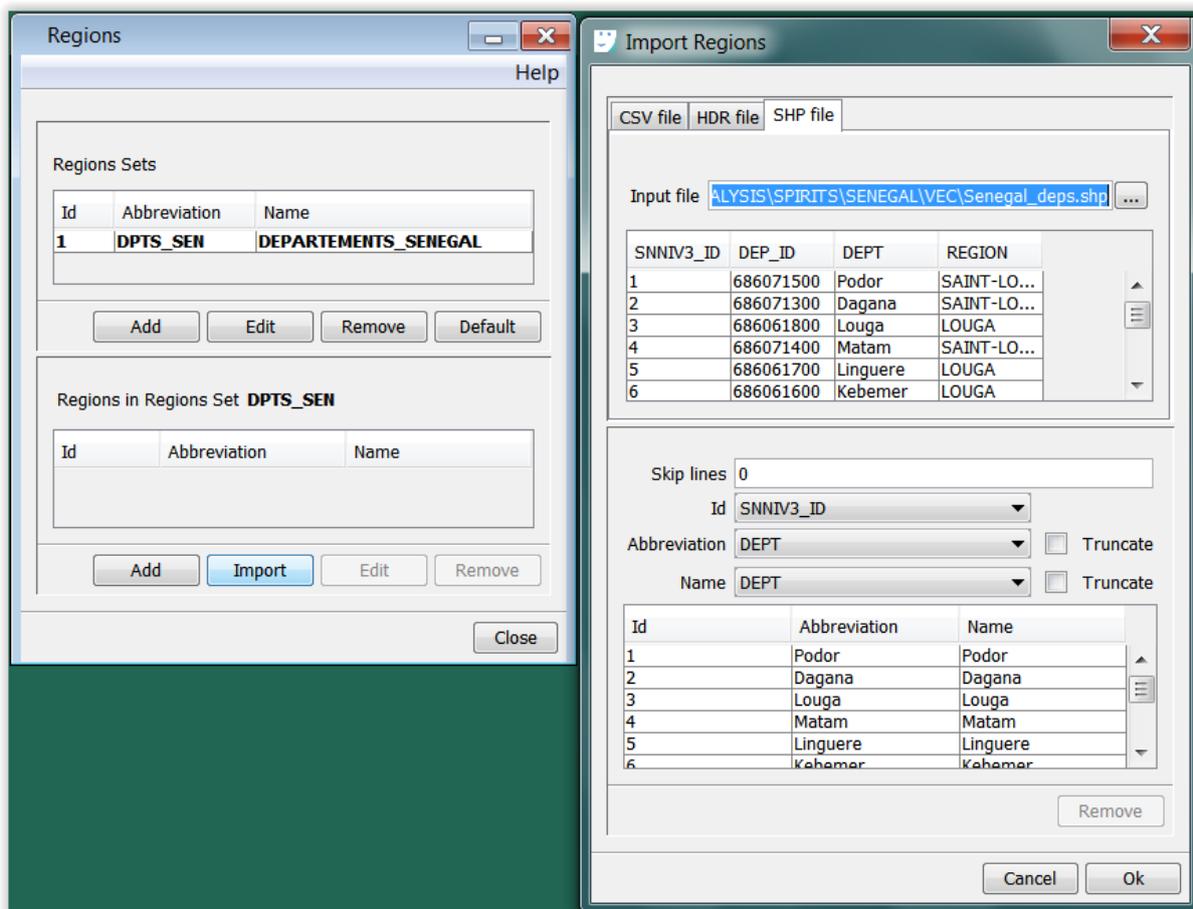
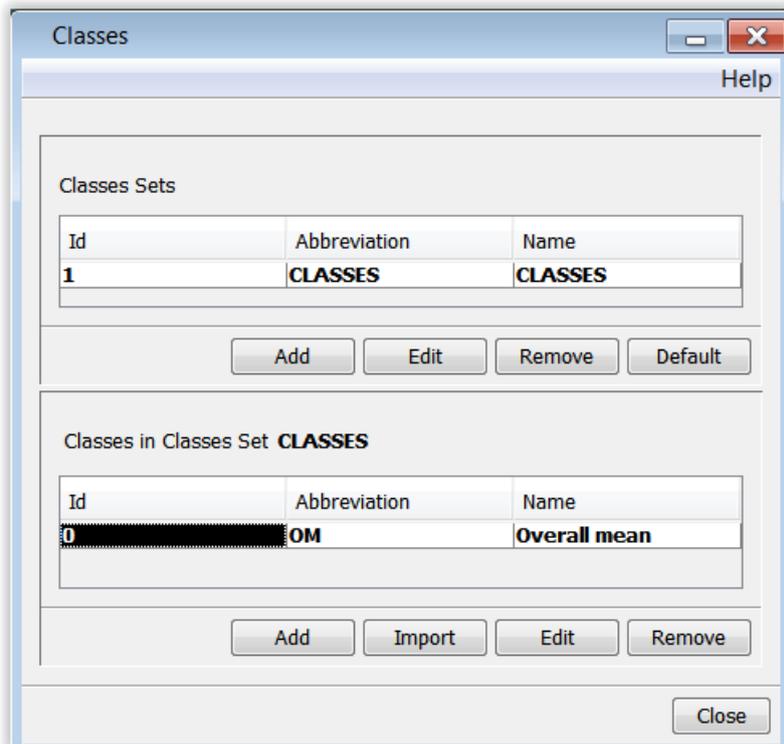


Figure 199 : Importation des « Regions » dans SPIRITS à partir du shapefile « Senegal\_deps.shp »

Pour « Classes » :

- pas d'importation :→ ajout manuel
- paramétrage : confer image ci-dessous
- The Classes Set containing the (land use/land cover) Classes used in the extraction (page 243 du manuel officiel de SPIRITS)



En résumé, les 4 éléments de la base de données sont créés :

**Sensors** [Close] [X]

Help

Id	Abbreviation	Name
1	CGLS_VGT_PROBAV	CGLS_VGT_PROBAV

Import Edit Remove Close Default

---

**Variables** [Close] [X]

Help

Id	Abbreviation	Name
1	NDVI	NDVI
2	sNDVI	sNDVI

Import Edit Remove Close Default

---

**Classes** [Close] [X]

Help

**Classes Sets**

Id	Abbreviation	Name
1	CLASSES	CLASSES

Add Edit Remove Default

**Classes in Classes Set CLASSES**

Id	Abbreviation	Name
0	OM	Overall mean

Add Import Edit Remove

Close

**Regions** [Close] [X]

Help

**Regions Sets**

Id	Abbreviation	Name
1	DPTS_SEN	DEPARTEMENTS...

Add Edit Remove Default

**Regions in Regions Set DPTS\_SEN**

Id	Abbreviation	Name
8	Bakel	Bakel
9	Bambey	Bambey
33	Bignona	Bignona
2	Dagana	Dagana
16	Dakar	Dakar
19	Dakar	Dakar
11	Diourbel	Diourbel
21	Fatick	Fatick
28	Foundiougne	Foundiougne
24	Foundiougne	Foundiougne
27	Foundiougne	Foundiougne
23	Foundiougne	Foundiougne
26	Foundiougne	Foundiougne
14	Gossas	Gossas
18	Kaffrine	Kaffrine

Add Import Edit Remove

Close

### 11.6.6.2. Création de l'image raster des zones d'intérêt pour l'extraction des statistiques

Pour pouvoir faire l'extraction des statistiques des images NDVI par zones d'intérêt (les départements du Sénégal), SPIRITS a besoin que ces zones d'intérêt lui soit fournies en format raster (image, matrice). SPIRITS ne peut utiliser directement un fichier vectoriel shapefile.

Il faut donc créer une image raster à partir du fichier vectoriel des départements du Sénégal. Cette image doit être compatible en termes de système de coordonnées, résolution spatiale et étendue avec les images sur lesquelles l'utiliser (images NDVI dans notre cas).

Pour plus d'information sur cette étape se référer au tutorial officiel de SPIRITS, page 61 « Exercise 4-6 Rasterize Shapefiles ».

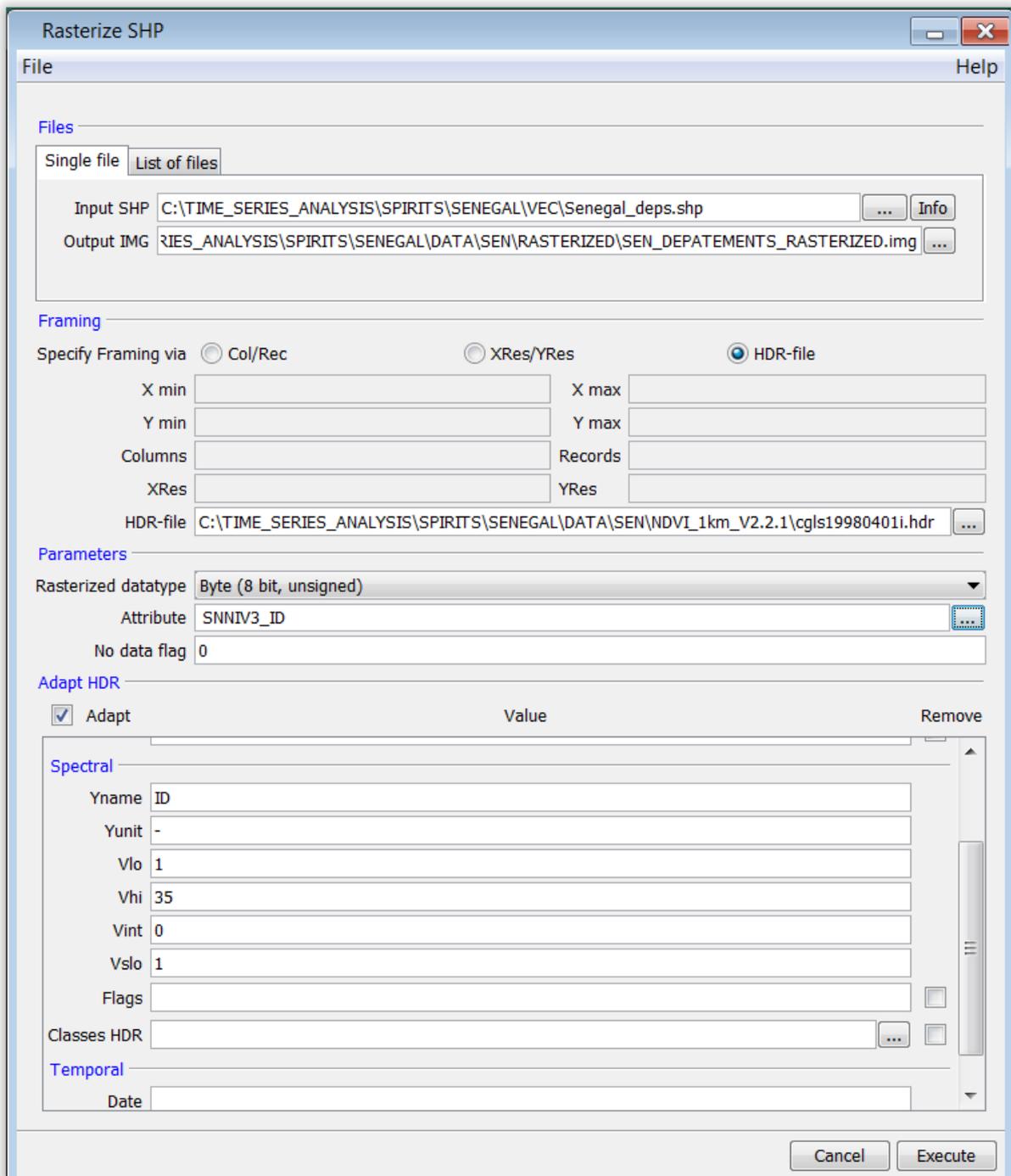
Pour ce faire:

- Import / Export > Vectors > Rasterize SHP-File

Dans la fenêtre "Rasterize SHP" qui s'ouvre:

- Soit paramétrer la fenêtre comme indiqué dans l'image ci-dessous et sauvegarder éventuellement votre « Task file » (TNT)
- Soit, pour gagner du temps, ouvrir (File > Open) le « Task file » (TNT) préalablement établi pour vous  
« C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\TNTRasterize\_SEN\_DEPS\_for\_NDVI.tnt »
  - « Framing » :
    - Peut être spécifié sur base d'un header file d'une image NDVI qui doit être analysée avec l'image rasterisée
  - « Parameters » :
    - Attributes : la valeur à donner aux pixels de l'image rastérisée. Dans notre cas, cela correspond aux identifiants des départements du Sénégal (SNNIV3\_ID) qui varie de 1 à 35. Notez que c'est cette même valeur qui a été utilisée lors de la création des identifiants des régions de la base de données dans la section précédente.
    - Rasterized data type : 8 Byte : permet des valeurs de 0 à 255, ce qui convient dans notre cas puisque les id varient de 1 à 35.
    - No data flag : la valeur à donner aux pixels de l'image rastérisée lorsque il n'y a pas de données correspondante dans le shapefile (en dehors du Sénégal dans ce cas-ci). Mettre la valeur de 0 (une autre valeur de votre choix, différente de 1 à 35, pourrait convenir aussi).
  - « Adapt HDR » :

- confer image ci-dessous
- Cliquer sur « Execute » pour lancer la rasterisation
- Vérifier le résultat :
  - Dans le panneau « Results » de SPIRITS (point noir)
  - Dans le dossier « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\RASTERIZED\SEN\_DEPATEMENTS\_RASTERIZED.img » (présence de la couche)
  - Dans QGIS ou un autre logiciel : afficher l'image rasterisée (facultatif)



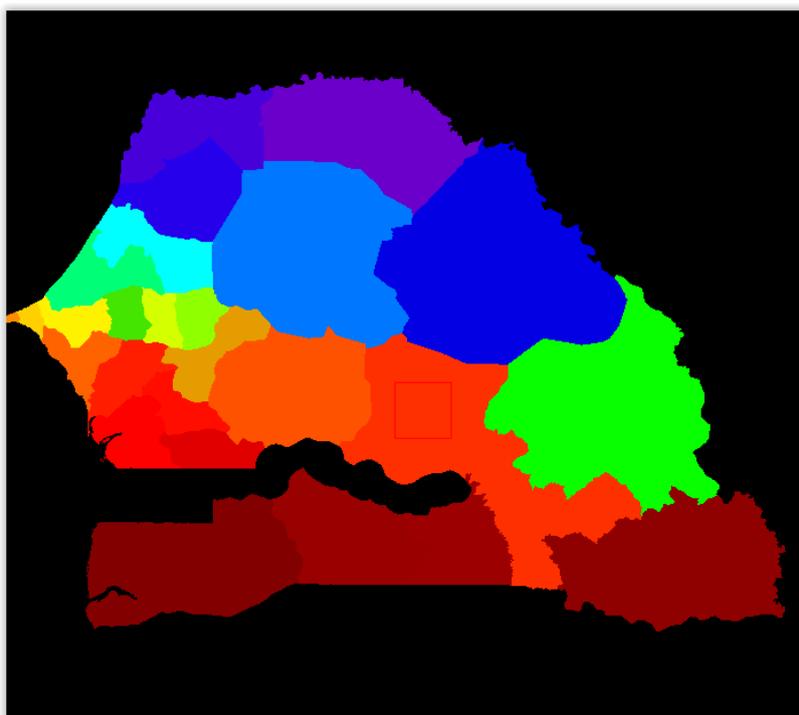


Figure 200 : Visualisation du fichier « SEN\_DEPATEMENTS\_RASTERIZED.img » dans le logiciel ENVI avec palette de couleurs « EOS A ».

### 11.6.6.3. Extraction des statistiques sur les valeurs de NDVI à partir des images

#### Spécifications de l'extraction de statistiques : choix de la méthode (SPU)

Plusieurs méthodes d'extraction des valeurs des images par zone sont proposées dans SPIRITS. Un **fichier de « spécification »** doit être établi afin de spécifier le type de méthode qui sera utilisé.

Dans notre cas, la méthode la plus simple sera utilisée :

- « **no land use classification** », soit une valeur moyenne par zone (par département) (= regional means ("Overall Mean")) sans tenir compte de l'occupation du sol.

Pour plus d'information sur les autres méthodes, voir les pages 249 et 251 du manuel officiel de SPIRITS :

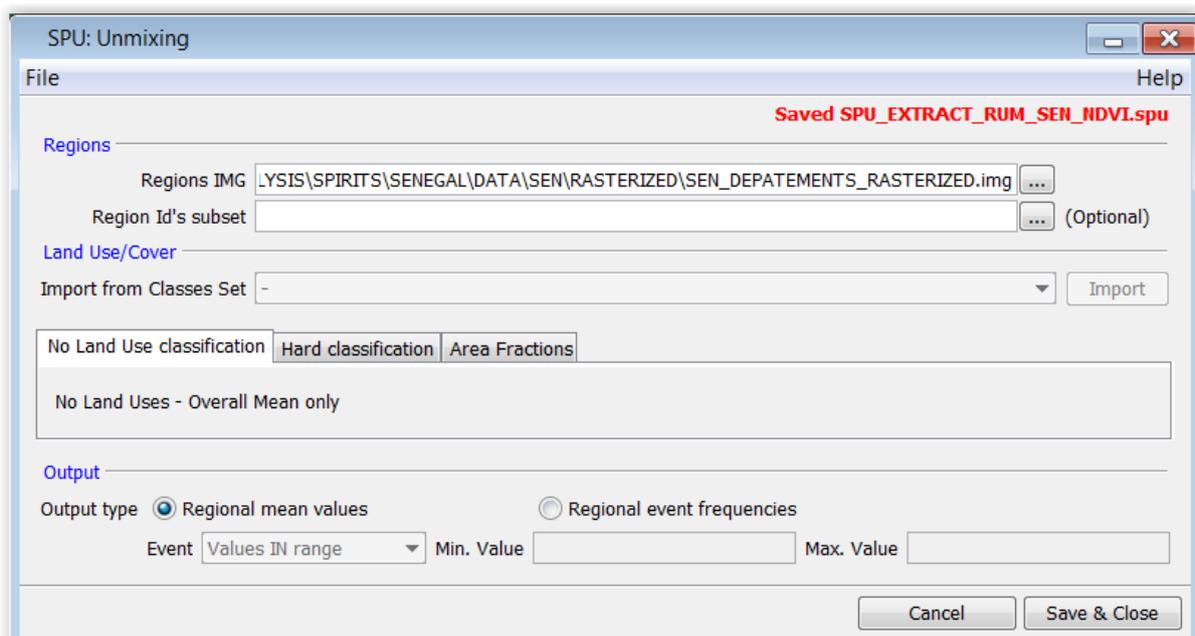
- « *Hard classification method : one mean value per class per region* » ("class" = classe d'occupation du sol)
- « *Area fractions method: one mean value per class per region, weighted by the AFI of that class.* » (AFI = Area Fraction Images)

Création d'un SPU

- Analysis > Database > Extract > Specification

Paramétrer le SPU :

- Soit paramétrer le SPU comme indiqué dans l'image ci-dessous et sauvegarder éventuellement votre scénario
- Soit, pour gagner du temps, ouvrir (File > Open) le « fichier de spécifications » (SPU) préalablement établi pour vous « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\SPX\SPU\_EXTRACT\_RUM\_SEN\_NDVI.spu »



### Création du scénario d'extraction

Avant de procéder à l'extraction, un scénario d'extraction doit être créé. Celui-ci permet de préciser d'autres paramètres de l'extraction.

Pour ce faire :

- Analysis > Database > Extract > Scenario

Paramétrer le scénario :

- Soit paramétrer le scénario comme indiqué dans l'image ci-dessous et sauvegarder éventuellement votre scénario
- Soit, pour gagner du temps, ouvrir (File > Open) le « scénario » (SNS) préalablement établi pour vous « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\SNS\RUM\_Extract\_scenario\_NDVI\_SEN »

## ATTENTION ! Remarque importante !

Les ID du « Region Sets » de la base de données (« Region Sets » appelé « DPTS\_SEN » dans ce cas-ci et préalablement construit à partir du shapefile des départements du Sénégal avec des ID de 1 à 35) **doivent correspondre aux ID de l'image utilisée pour l'extraction** de statistiques (l'image rasterisée à partir du shapefile des départements du Sénégal dans ce cas-ci « SEN\_DEPATEMENTS\_RASTERIZED.img »). C'est cette correspondance qui permet de placer les valeurs extraites dans les bonnes « cases » correspondantes de la base de données.

*“In case the extracted data will be uploaded into the projects RUM database, **the ID's in this Regions IMG must agree with the Id's of the Regions contained in the selected Regions Set from the database**: this Id is one of the links between the data extracted by the Extract RUM tool and the data imported into the RUM database.”* (page 246, SPIRITS official manual)

RUM extraction scenario

File Help

General scenario parameters

Scenario name RUM\_Extract\_scenario\_NDVI\_SEN

Periodicity Dekad

Input path C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\NDVI\_1km\_V2.2.1

prefix date suffix

cgls YYYYMMDD i

Output path C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\RUM\SEN\NDVI

prefix date suffix

cgls YYYYMMDD i

RUM extraction parameters

Sensor CGLS\_VGT\_PROBAV

Variable NDVI

Include explanations

RUM specification file

SPU specification C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\SPX\SPU\_EXTRACT\_RUM\_SEN\_NDVI.spu New View Edit

Upload

Upload to RUM database

Regions Set DPTS\_SEN

Classes Set CLASSES

Cancel Save & Close

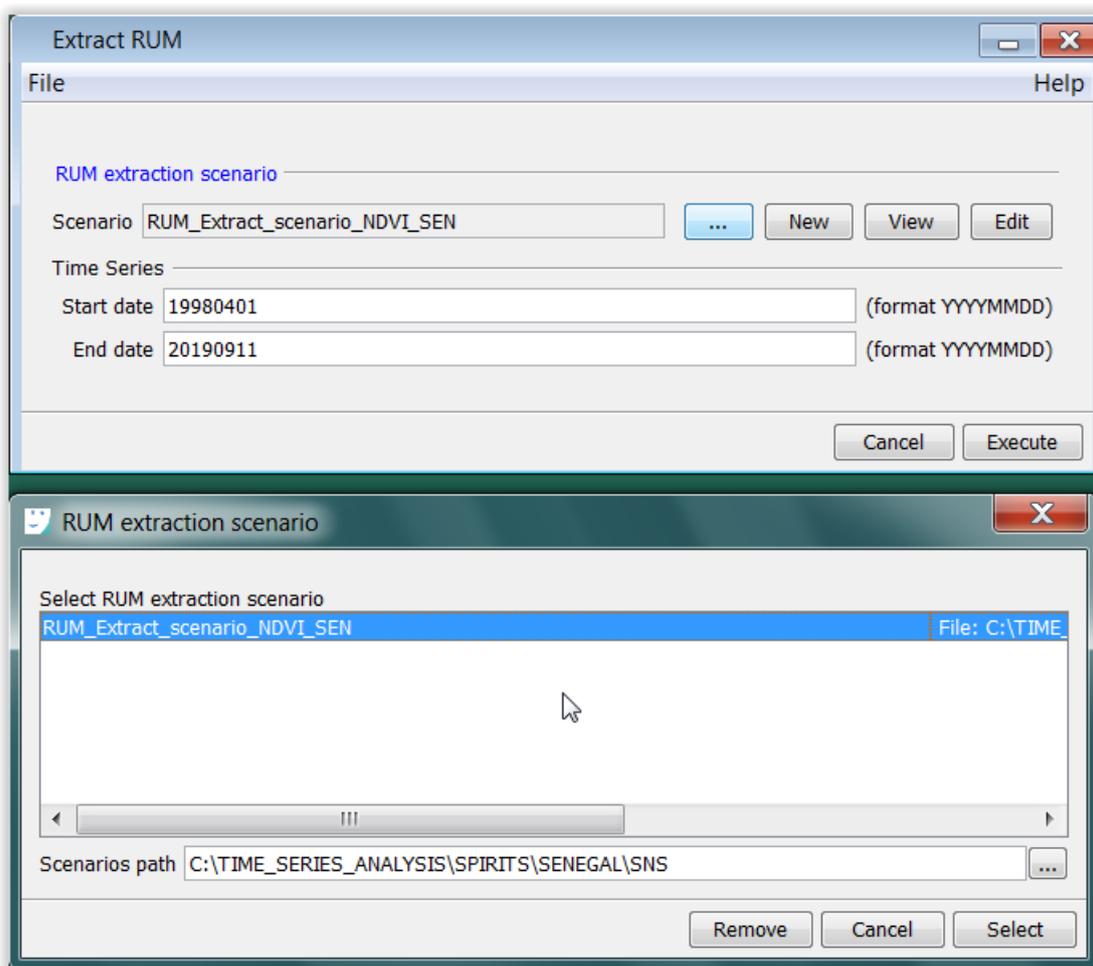
## Extraction des statistiques des images par zone d'intérêt

L'extraction peut enfin se faire. Pour ce faire :

- Analysis > Database > Extract > Time series

Paramétrer la tâche d'extraction :

- Soit paramétrer la tâche d'extraction comme indiqué dans l'image ci-dessous et sauvegarder éventuellement votre « Task file » (TNT)
- Soit, pour gagner du temps, ouvrir (File > Open) le « Task file » (TNT) préalablement établi pour vous « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\SNS\EXTRACT\_RUM\_SEN\_NDVI\_1998\_2019.tnt »



- Cliquer sur "Execute" (temps d'exécution: 8 minutes)
- Vérifier le résultat :
  - Dans le panneau « Results » de SPIRITS (point noir)
  - Dans le dossier "C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\RUM\SEN\NDVI\" (présence des fichiers de résultat)

### 11.6.6.4. Visualisation des profils temporels de NDVI par région

Maintenant que les statistiques ont été calculées, extraites, et stockées dans la base de données du projet SPIRITS, il est possible de la consulter, notamment via la création de graphiques.

Pour consulter la base de données produite :

- Analysis > Database > Browse

Pour visualiser un profil temporel de l'évolution du NDVI entre 1998 et 2019 pour une région donnée :

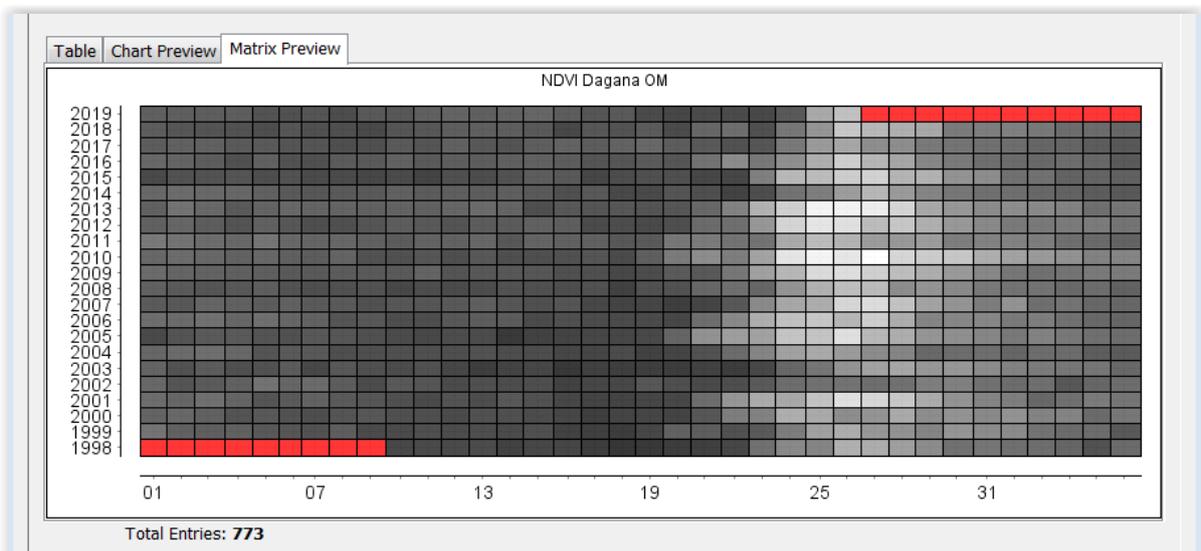
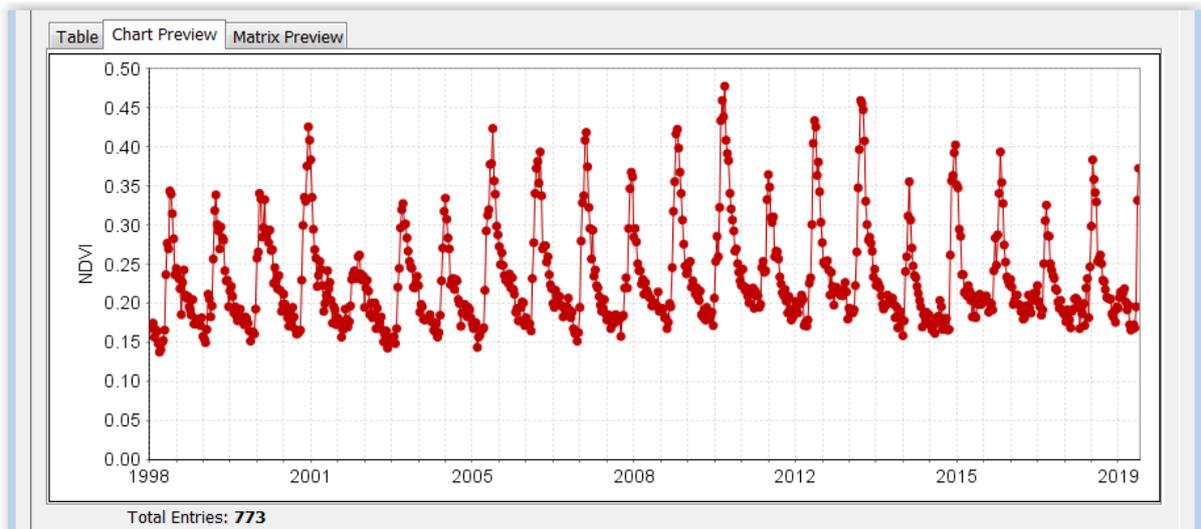
- Sélectionner la région et parcourir les onglets « Table », « Chart Preview » et « Matrix Preview »

The screenshot shows the 'Browse RUM database' application window. At the top, there are search filters: Regions Set (DPTS\_SEN), Region (\* ALL \*), Classes Set (CLASSES), Class (\* ALL \*), Sensor (CGLS\_VGT\_PROBAV), Variable (NDVI), Periodicity (\* ALL \*), and Method (\* ALL \*). Below the filters is a table with columns: Type, Region, Class, Method, Threshold, Sensor, Variable, and Periodicity. The table lists several entries for different regions like Podor, Dagana, Louga, Matam, Linguere, and Kebemer. Below this table, it shows 'Total Entries: 31' and 'Page: 1/1'. At the bottom of the window, there are three tabs: 'Table', 'Chart Preview', and 'Matrix Preview'. The 'Table' tab is active, showing a table with columns: Date, Mean, StdDev, Rel.Area 1, and Rel.Area 2. This table lists data for various dates from 19980401 to 19981011. At the bottom of the window, there are buttons for 'New Chart', 'New Matrix', 'New Scatter', 'Add', and 'Close'.

Type	Region	Class	Method	Threshold	Sensor	Variable	Periodicity
TS	Podor	OM	OM	0	CGLS_VGT_PR...	NDVI	K
TS	Dagana	OM	OM	0	CGLS_VGT_PR...	NDVI	K
TS	Louga	OM	OM	0	CGLS_VGT_PR...	NDVI	K
TS	Matam	OM	OM	0	CGLS_VGT_PR...	NDVI	K
TS	Linguere	OM	OM	0	CGLS_VGT_PR...	NDVI	K
TS	Kebemer	OM	OM	0	CGLS_VGT_PR...	NDVI	K

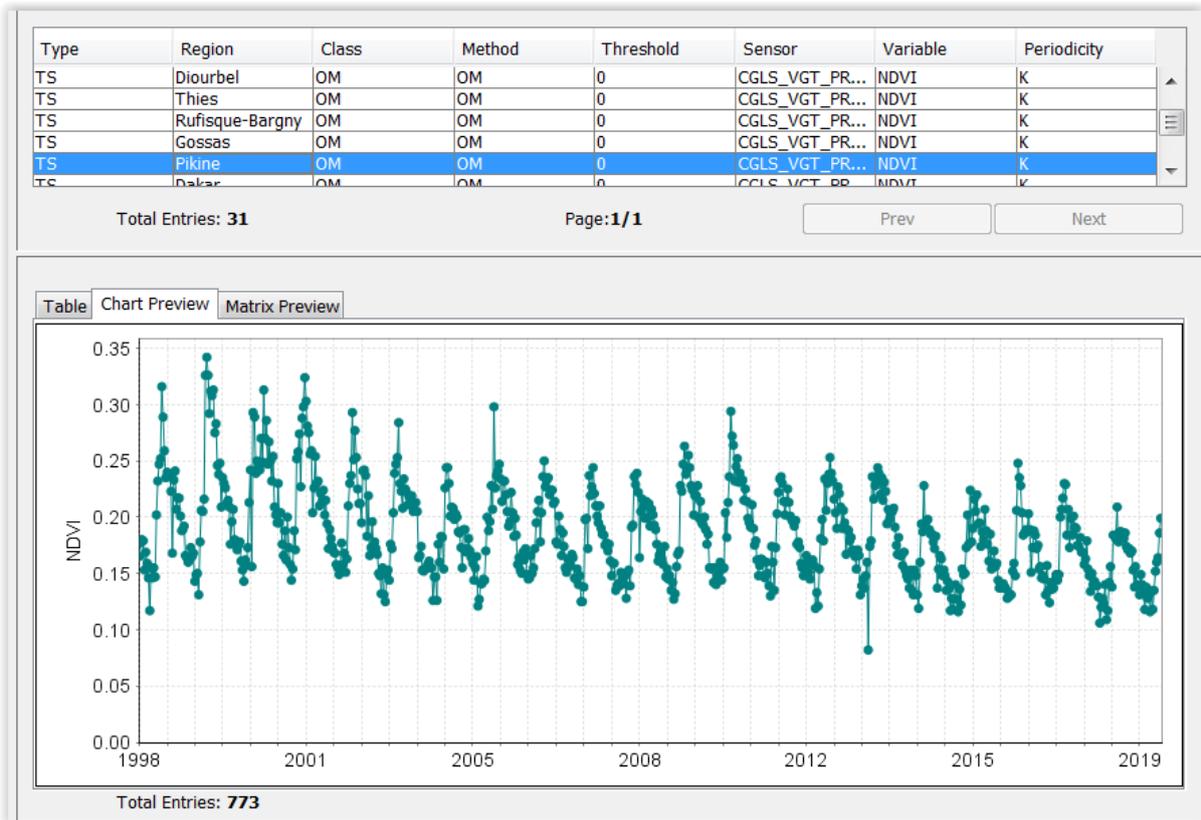
  

Date	Mean	StdDev	Rel.Area 1	Rel.Area 2
19980401	0.167	0.033	92.276	92.276
19980411	0.17	0.04	92.337	92.337
19980421	0.169	0.037	91.946	91.946
19980501	0.174	0.046	92.337	92.337
19980511	0.156	0.04	91.856	91.856
19980521	0.166	0.049	92.216	92.216
19980601	0.163	0.044	92.171	92.171
19980611	0.148	0.03	92.111	92.111
19980621	0.137	0.031	89.136	89.136
19980701	0.14	0.034	91.465	91.465
19980711	0.149	0.038	91.69	91.69
19980721	0.152	0.053	90.864	90.864
19980801	0.165	0.052	89.211	89.211
19980811	0.236	0.083	89.662	89.662
19980821	0.276	0.083	91.48	91.48
19980901	0.269	0.08	92.231	92.231
19980911	0.343	0.087	91.916	91.916
19980921	0.339	0.096	92.111	92.111
19981001	0.314	0.088	92.231	92.231
19981011	0.282	0.097	92.222	92.222

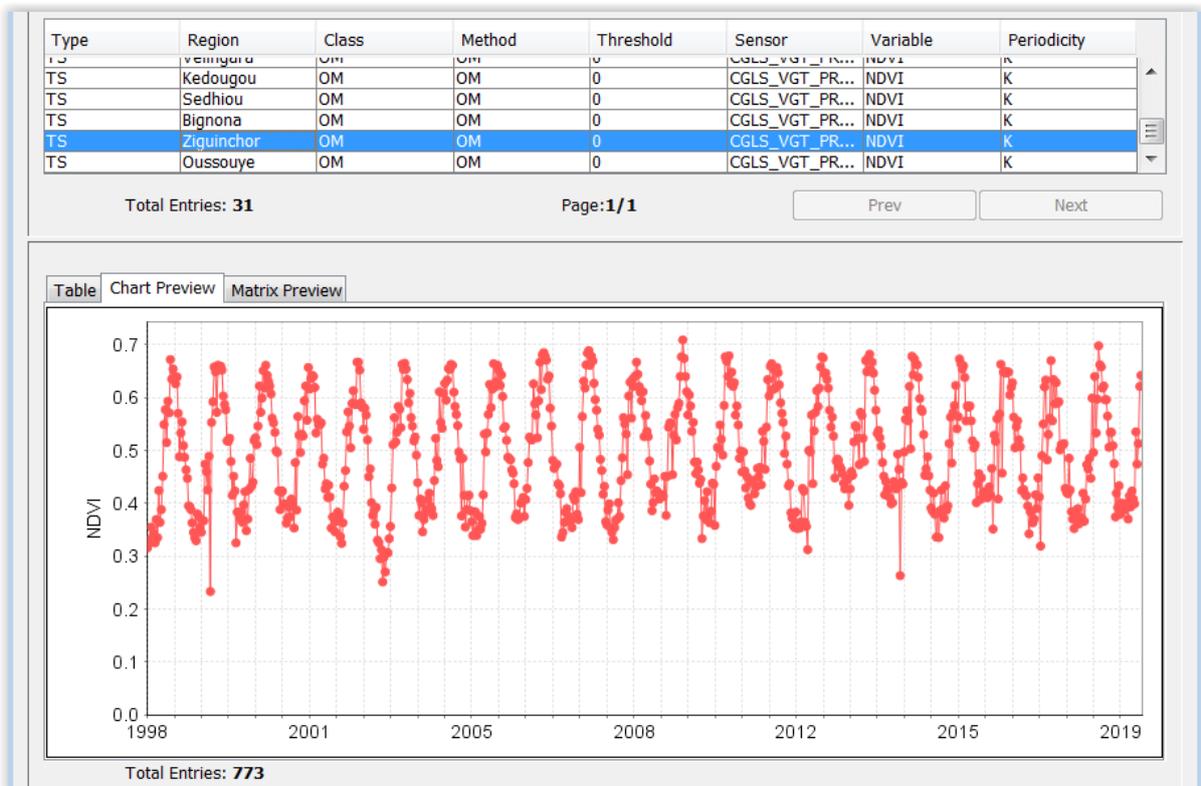


Dagana, Podor, Louga : forte variabilité inter-annuelle : Nord du Sénégal, faibles précipitations !

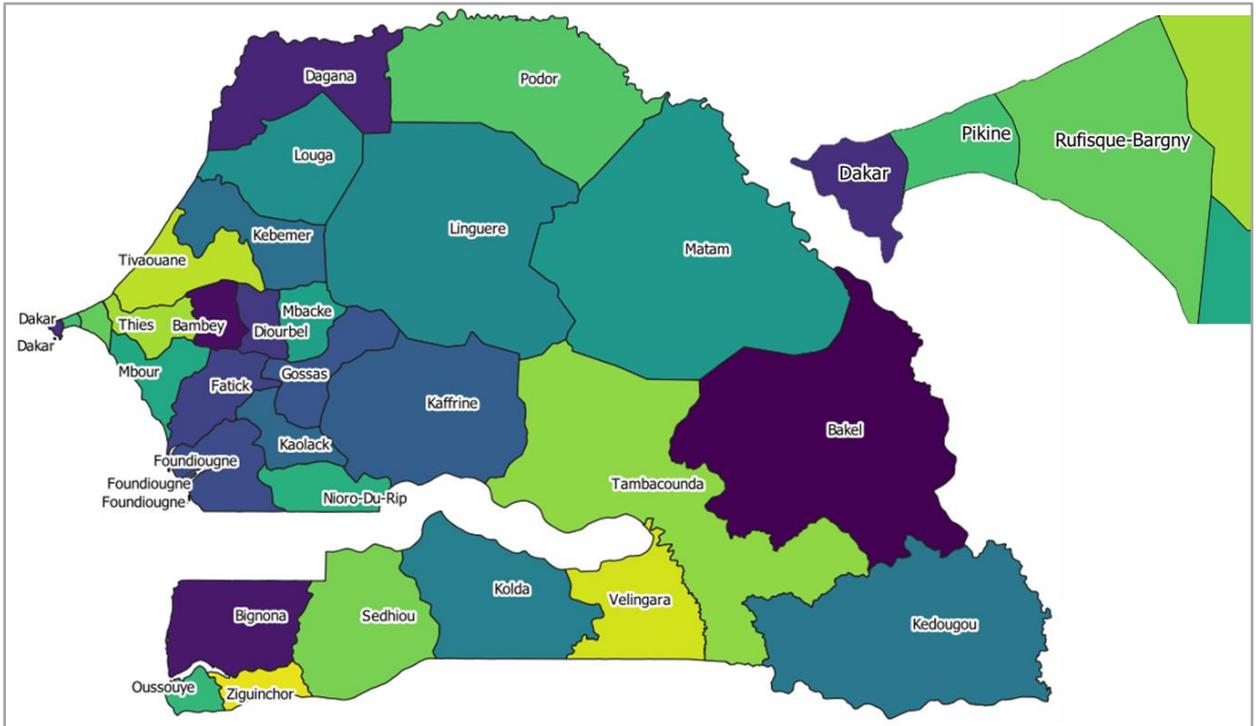
Remarquer la variabilité du pic de NDVI d'une année à l'autre, en particulier pour 2002 où le pic est faible.



Dakar et Pikine : décroissant. Urbanisation ?



Ziguinchor : élevé et régulier : sud du Sénégal, bien arrosé.



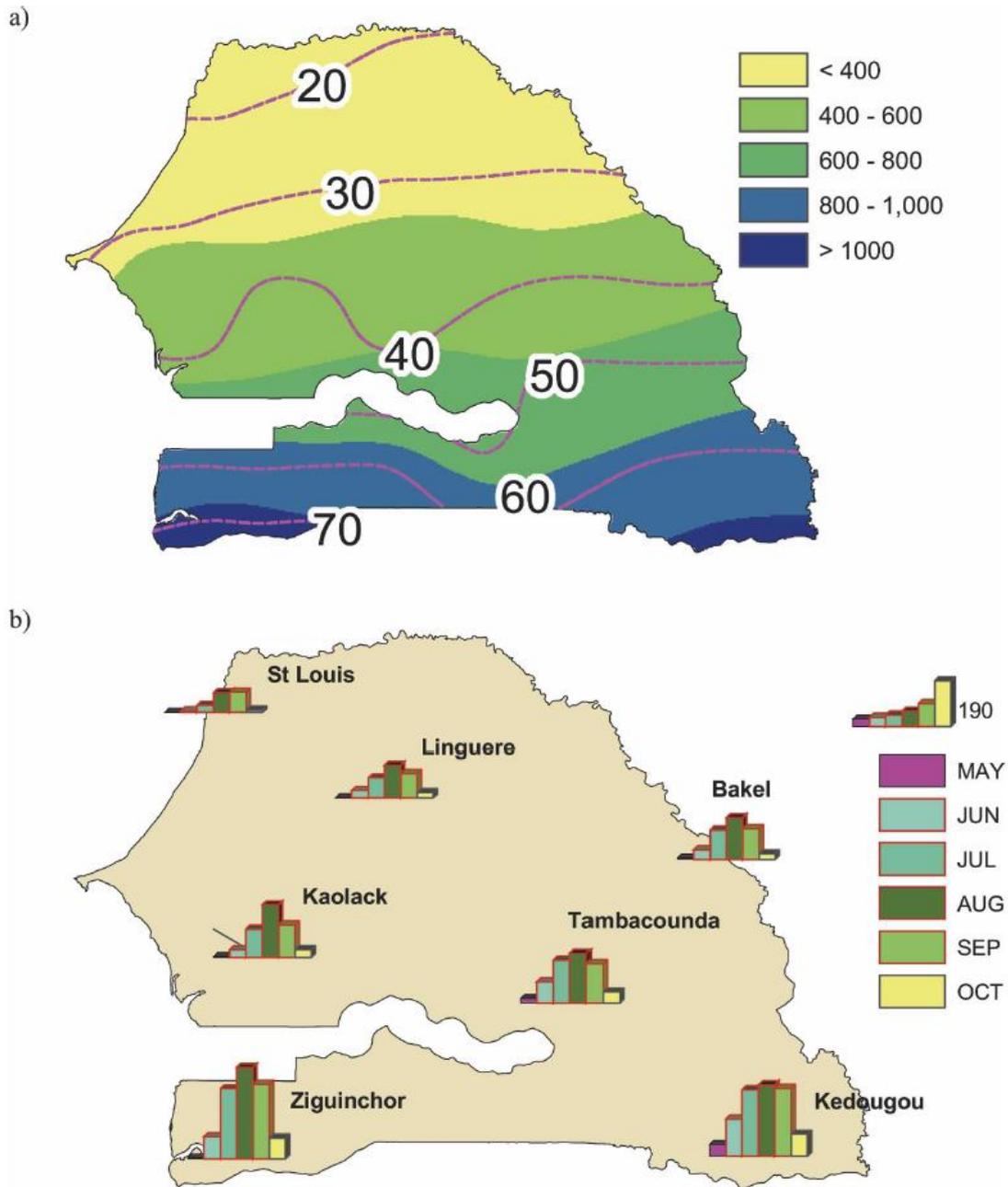
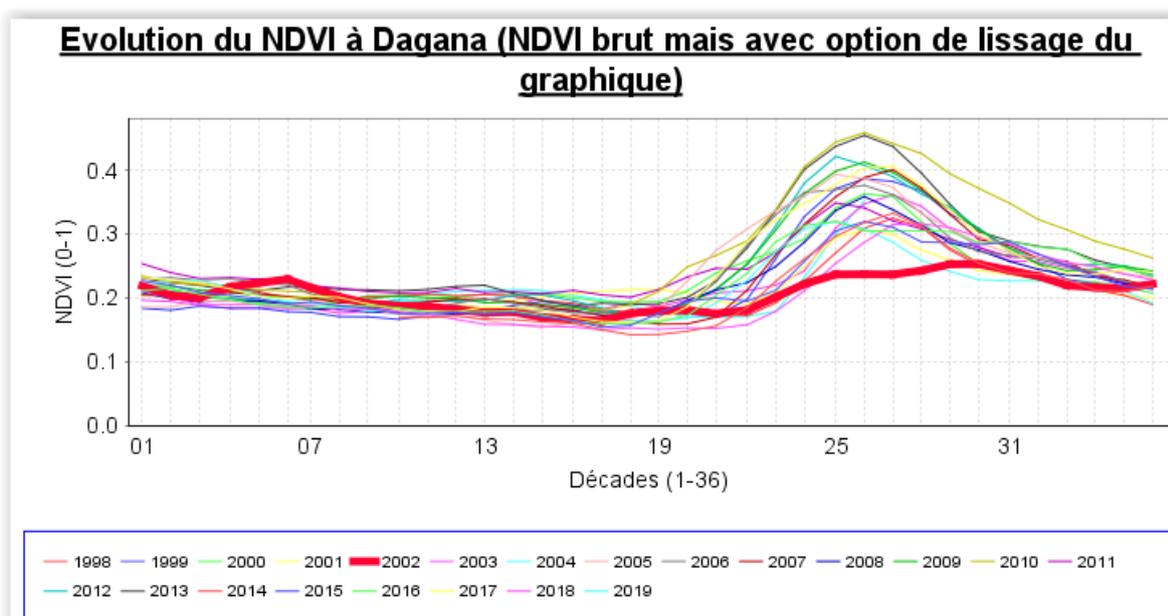
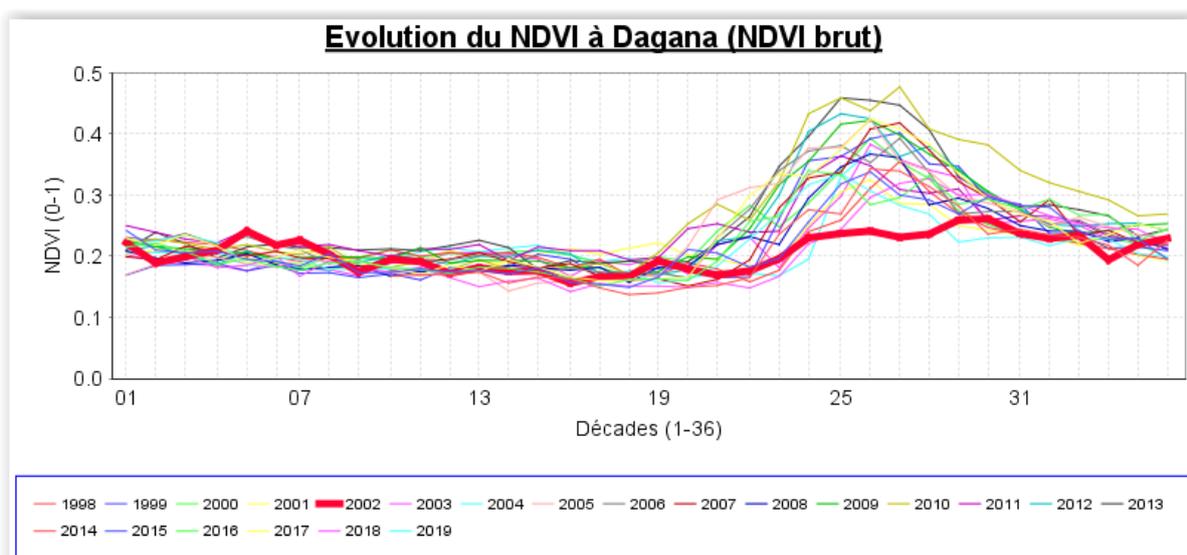


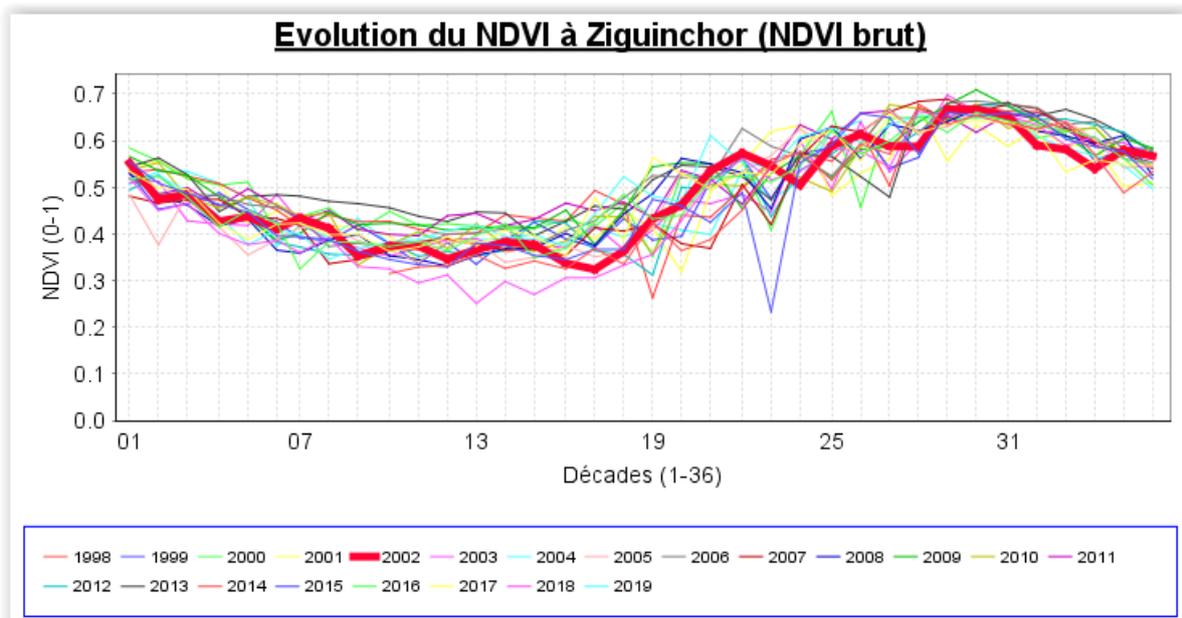
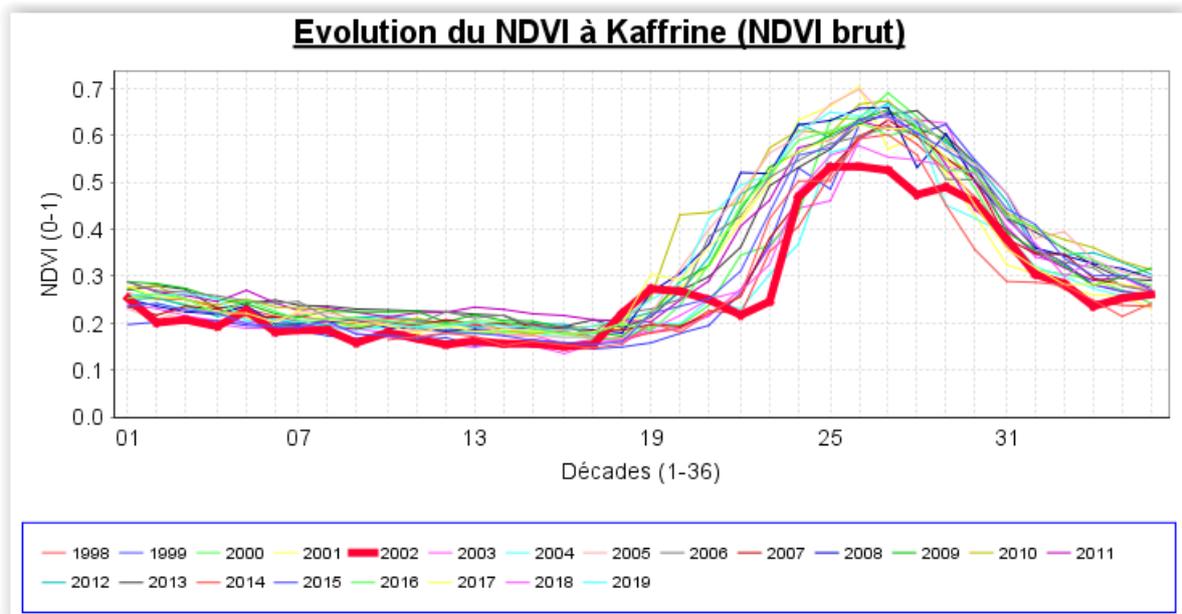
Figure 5. Seasonal (JJAS) rainfall distribution for the period 1971-98: (a) rainfall in mm (colors) and number of rainy days (isolines); (b) monthly distribution, for the rainy months. A north-south gradient is evident. Southern Senegal is the first and the last region to receive rainfall, depending on the monsoon.

Source: Analysis of mean climate conditions in Senegal (1971-98), S Fall, D Niyogi, FHM Semazzi - Earth Interactions, 2006, journals.ametsoc.org, <http://landsurface.itap.purdue.edu/publications-protected/J41.pdf>

Pour visualiser un profil temporel de l'évolution du NDVI entre 1998 et 2019 pour une région donnée avec superposition des années:

- Cliquer sur « New Chart »
  - Explorer les options de mise en page des graphiques
  - Possibilité d'ouvrir ou sauvegarder un template de graphique (CNC) via « File > Open » ou « File > Save as », dans le répertoire « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\CNC\ ».
  - Ouvrir par exemple le template « NDVI\_DAGANA\_2002 lissé.cnc »
  - Possibilité d'exporter en PNG (File > Export PNG)





### Bruit du signal NDVI et lissage temporel

On peut remarquer que le signal NDVI « brut », celui utilisé pour l'extraction des statistiques, présente une certaine irrégularité dans son évolution intra-annuelle : il y a un certain bruit du aux conditions atmosphériques changeantes d'une décade à l'autre.

Pour diminuer l'impact des conditions atmosphériques sur le signal et de la sorte produire un signal qui traduit mieux les conditions de végétation réelles, il est possible d'effectuer un « lissage temporel » du signal NDVI. Ceci sera fait dans la section suivante.

## 11.6.7. Lissage temporel des images NDVI et extraction des statistiques

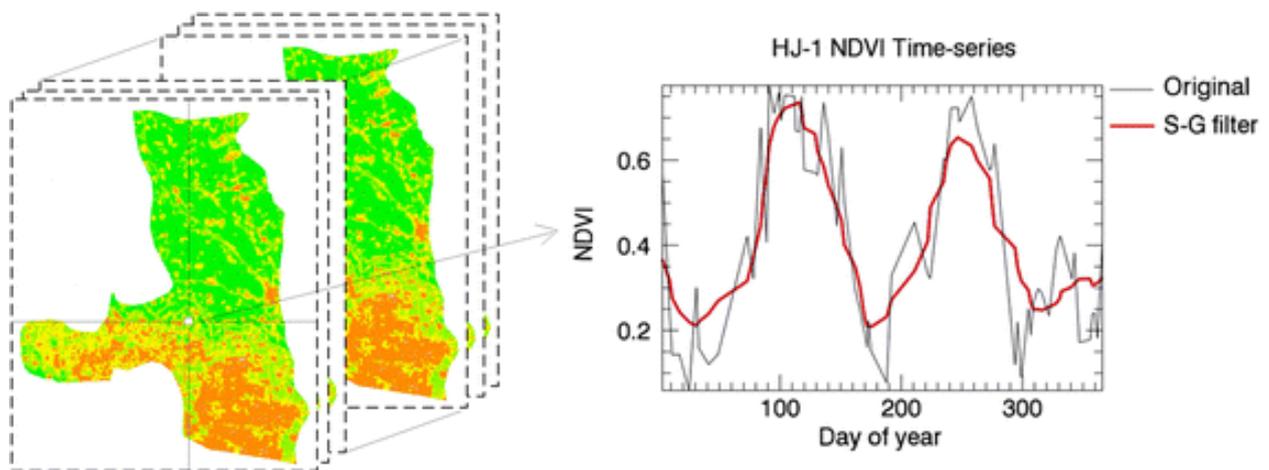
### 11.6.7.1. Concept du lissage temporel d'images satellites

La figure ci-dessous illustre le concept de lissage temporel d'images satellites.

La courbe d'évolution temporelle du NDVI dérivée de chacun des pixels de l'image (courbe noire « Original » sur le graphique) présente un certain bruit. Cette courbe correspond à l'évolution du NDVI pour un pixel donné sur la série d'images NDVI utilisée.

Cette courbe peut être lissée via de nombreuses méthodes (courbe rouge « S-G filter » sur le graphique (algorithme de Savitzky-Golay)).

Les valeurs de NDVI lissées (courbe rouge) sont ensuite utilisées pour produire de nouvelles images de NDVI lissées temporellement.



Source: Construction of smooth daily remote sensing time series data: a higher spatio temporal resolution perspective, Zhuokun Pan, Yueming Hu, Bin Cao, 2017, DOI 10.1186/s40965-017-0038-z, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186%2Fs40965-017-0038-z.pdf>

### 11.6.7.2. Lissage temporel des images NDVI

Pour appliquer un lissage temporel à la série d'images NDVI :

- Processing > Temporal > Smoothing > Smooth

**Paramétrer la tâche de lissage temporel :**

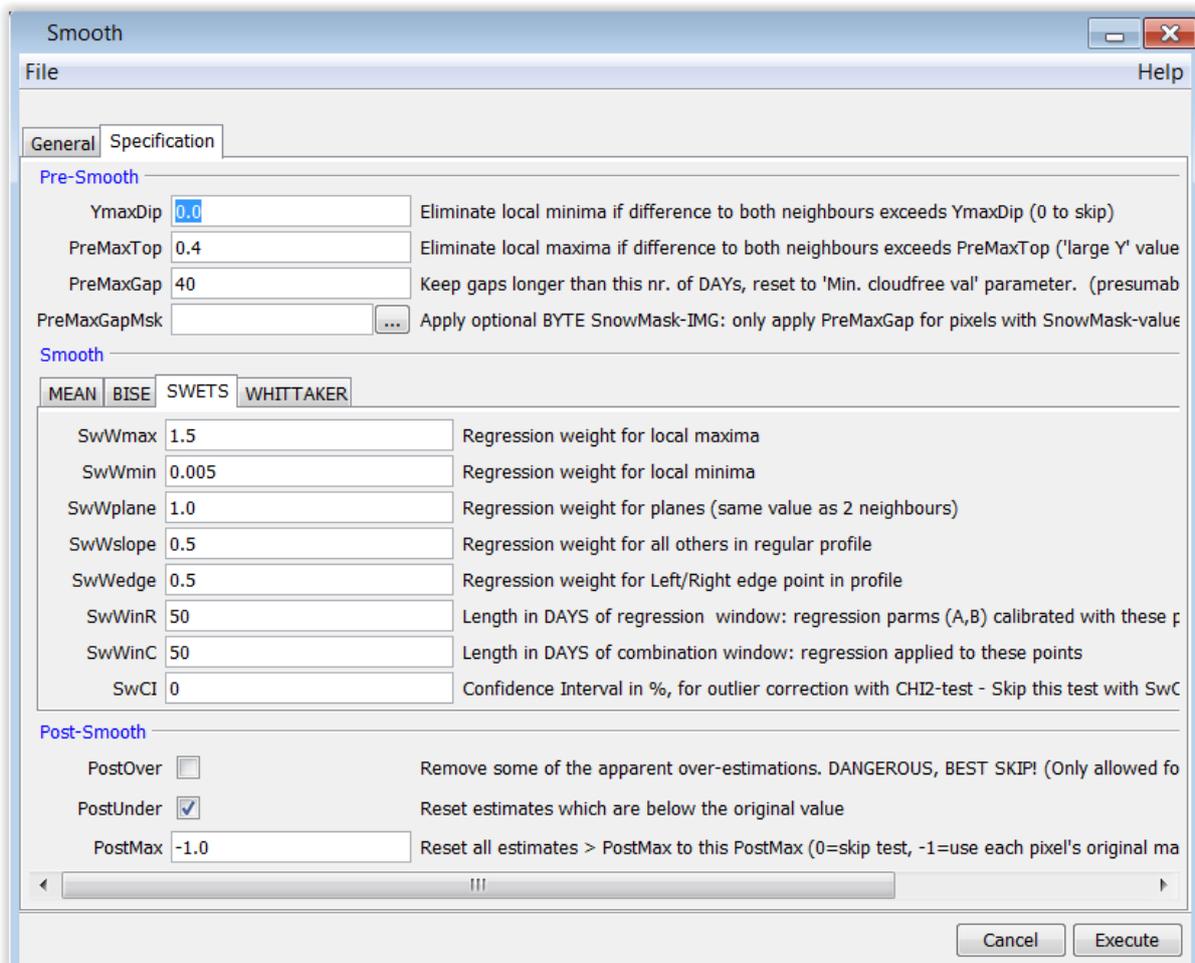
- Soit paramétrer la tâche de lissage temporel comme indiqué dans l'image ci-dessous et sauvegarder éventuellement votre « Task file » (TNT)

- Soit, pour gagner du temps, ouvrir (**File > Open**) le « Task file » (TNT) préalablement établi pour vous « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\TNT\SMOOTH\_NDVI\_TEMPORALY\_SEN\_1998\_2019.tnt »
  - **Suffixe k** : par convention, qui signifie qu'il s'agit d'un NDVI lissé temporellement
  - **Output flags** : choisir dans ce cas-ci « Copy UNI-flags » car nos images respectent ce système. Confer manuel officiel de Spirits page 25 section « 2.3.2. The UNiflags system ».

The screenshot shows the 'Smooth' software window with the 'Specification' tab selected. The interface is divided into several sections:

- Input series:**
  - Start date: 19980401
  - End date: 20190911
  - Input path: C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\NDVI\_1km\_V2.2.1
  - prefix: cgls, date: YYYYMMDD, suffix: i
  - Periodicity: Dekad, Max.missing: 0
  - Replace missing:  None,  Previous year,  Historical year
  - Path: (empty), prefix: (empty), date: (empty), suffix: (empty)
  - Copy before start: 0, Copy after end: 0
- Output series:**
  - Start date: 19980401
  - End date: 20190911
  - Output path: C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\NDVI\_1km\_V2.2.1\_SMOOTHED
  - prefix: cgls, date: YYYYMMDD, suffix: k
- Parameters:**
  - Min.cloudfree val. (empty), %Max.missing val.: 75
  - Extrapolate tails
  - Create VAR/MTA files
  - Output flags: Copy UNI-flags

Buttons for 'Cancel' and 'Execute' are located at the bottom right of the window.



- Cliquer sur « **Execute** » pour lancer le lissage temporel (temps d'exécution : 1 minute)
- Vérifier le résultat :
  - Dans le panneau « Results » de SPIRITS (point noir)
  - Dans le dossier « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\NDVI\_1km\_V2.2.1\_SMOOTHED\ » (présence des images)

**Remarque :** en principe, il faudrait s'assurer que la technique de lissage utilisée produit l'effet escompté et le cas échéant modifier le paramétrage du lissage jusqu'à obtenir l'effet escompté. Le signal lissé peut être observé visuellement avec, par exemple, la méthode de visualisation graphique présentée dans la section 11.6.6.4 page 366 et suivantes.

### 11.6.7.3. Extraction des statistiques sur les images NDVI lissées temporellement

Une fois les images lissées temporellement, elles peuvent être utilisées pour extraire les statistiques désirées (valeurs moyenne de NDVI par zone par exemple).

Le même type d'opération a déjà été effectué précédemment sur les images NDVI brutes dans la section 11.6.6 page 353 et suivantes.

- **Création de la structure de la base de données :**
  - créer une **variable sNDVI** (smoothed NDVI) : déjà fait à la section 11.6.6.1.
- **Création du scénario d'extraction à partir du scénario précédent:**
  - **Analysis > Database > Extract > Scenario**
  - Soit
    - File > Open > RUM\_Extract\_scenario\_NDVI\_SEN.sns
    - Modifier le Scénario comme indiqué dans l'image ci-dessous et sauvegarder éventuellement votre scénario
  - Soit, pour gagner du temps,
    - Ouvrir (**File > Open**) le « scénario » (SNS) préalablement établi pour vous  
 « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\SNS\RUM\_Extract\_scenario\_NDVI\_SMOOTHED\_SEN.sns »
  - **Attention à :**
    - « input path »: smoothed NDVI
    - « output path »: NDVI\_SMOOTHED
    - « suffix » : k (k = par convention, qui signifie qu'il s'agit d'un NDVI lissé temporellement)
    - « Variable » : sNDVI

**RUM extraction scenario**

File Help

Saved RUM\_Extract\_scenario\_NDVI\_SMOOTHED\_SEN.sns

**General scenario parameters**

Scenario name: RUM\_Extract\_scenario\_NDVI\_SMOOTHED\_SEN

Periodicity: Dekad

Input path: C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\NDVI\_1km\_V2.2.1\_SMOOTHED

prefix: cglis date: YYYYMMDD suffix: k

Output path: C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\RUM\SEN\NDVI\_SMOOTHED

prefix: cglis date: YYYYMMDD suffix: k

**RUM extraction parameters**

Sensor: CGLS\_VGT\_PROBAV

Variable: sNDVI

Include explanations

**RUM specification file**

SPU specification: \TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\SPX\SPU\_EXTRACT\_RUM\_SEN\_NDVI.spu

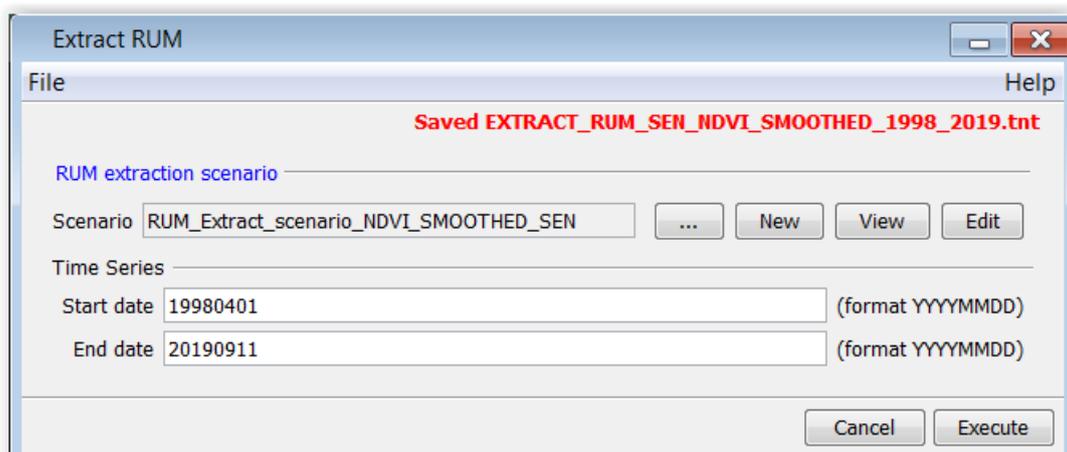
Upload to RUM database

Regions Set: DPTS\_SEN

Classes Set: CLASSES

Cancel Save & Close

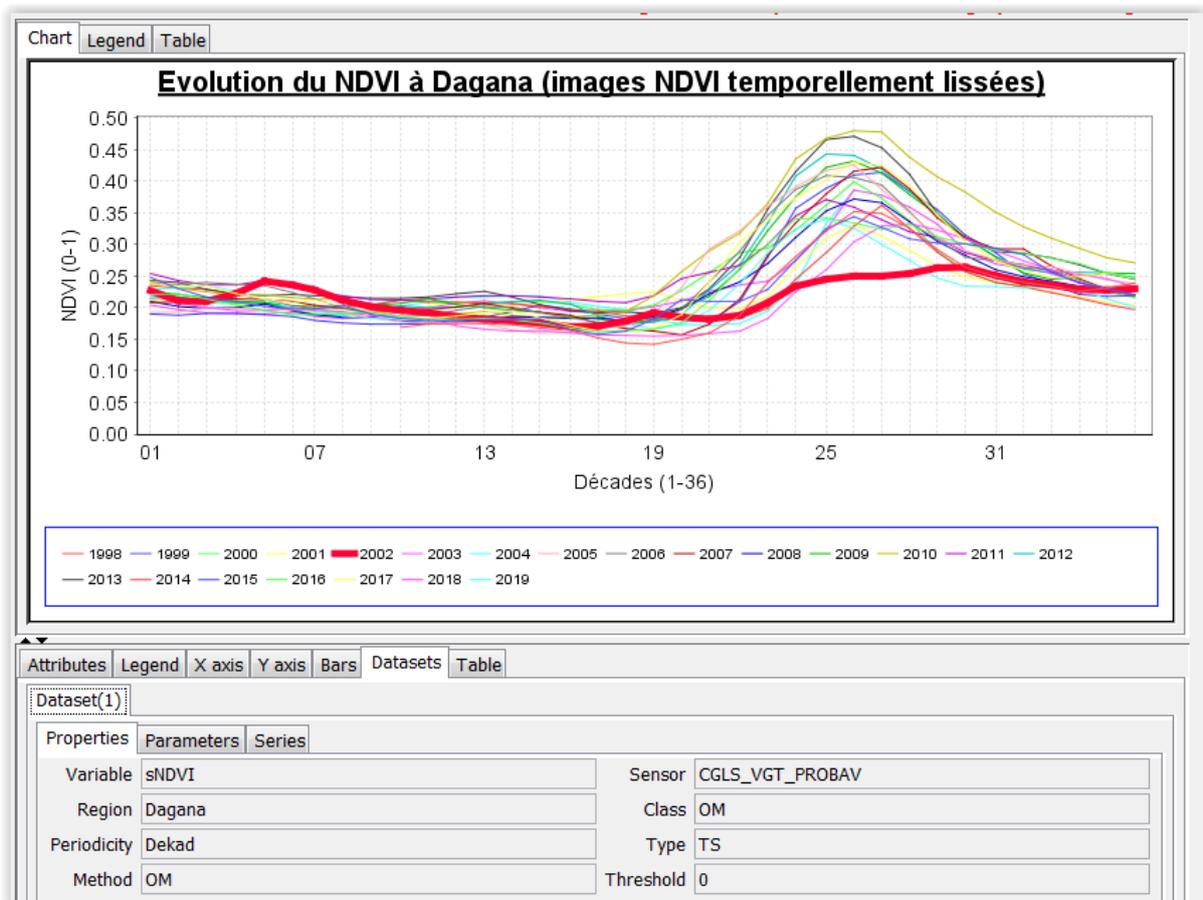
- **Extraction des statistiques des images NDVI lissées temporellement par zone d'intérêt**
  - **Analysis > Database > Extract > Time series**
  - Paramétrer la tâche d'extraction :
    - Soit paramétrer la tâche d'extraction comme indiqué dans l'image ci-dessous et sauvegarder éventuellement votre « Task file » (TNT)
    - Soit, pour gagner du temps, ouvrir (File > Open) le « Task file » (TNT) préalablement établi pour vous « **C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\SNS\EXTRACT\_RUM\_SEN\_NDVI\_SMOOTHED\_1998\_2019.tnt** »
  - Cliquer sur "Execute" (temps d'exécution: 7 minutes)
  - Vérifier le résultat :
    - Dans le panneau « Results » de SPIRITS (point noir)
    - Dans le dossier
    - "C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\RUM\SEN\NDVI\_SMOOTHED\ » (présence des fichiers de résultat)



- **Visualisation des profils temporels de NDVI par région**

Une fois les statistiques extraites à partir des images lissées temporellement, elles peuvent être explorées, via des graphiques notamment, comme similairement fait pour les images NDVI brutes à la section 11.6.6.4 page 366 **mais en choisissant cette fois la variable « sNDVI » !**

Exemple pour Dagana dans l'image ci-dessous (images NDVI lissées temporellement mais l'option de lissage du graphique n'a pas été utilisée ici).



Ces images temporellement lissées sont de meilleure qualité que les images brute dans le sens où elles expriment mieux le comportement réel de la végétation à travers le temps car elles sont moins impactées par les variations des conditions atmosphériques.

### 11.6.8. Création de carte d'anomalie

Pour créer une carte d'anomalie, plusieurs méthodes existent : conférer le tutoriel officiel de SPIRITS page 84.

Dans le cadre de cet exercice nous allons créer **une carte d'anomalie du NDVI pour chaque décade de l'année 2002 pour le Sénégal** en comparant le NDVI de chaque décade de l'année 2002 à la valeur moyenne observée sur toute la série d'images disponibles (1998-2019) pour chaque décade. Cette valeur moyenne sera appelée « Long Term Average » (LTA). Les étapes à suivre sont :

- Calcul du LTA
- Calcul des images d'anomalie
- Visualisation des images d'anomalie

#### 11.6.8.1. Calcul de « Long Term Average » (LTA) des images NDVI

Pour calculer les images NDVI décadaires « Long Term Average » pour le Sénégal pour la période 1999-2018 (1998 et 2019 ne sont pas considérées vu que ces séries ne sont pas complètes) :

- **Processing > Temporal > Long-term statistics**

- Ensuite,
  - Soit paramétrer l'outil LTA comme indiqué dans la fenêtre ci-dessous, sauvegarder éventuellement le paramétrage dans un « task file » (TNT), et exécuter l'outil
  - Soit ouvrir (File > Open) le « task file » (TNT) préalablement établi pour vous disponible dans le répertoire « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\TNT\LTA\_1999\_2018.tnt » et l'exécuter (temps d'exécution : 2 minutes)
  - Remarquez que ce sont les images temporellement lissées qui sont utilisées pour calculer le LTA.

- Vérifier le résultat :
  - Dans le panneau « Results » de SPIRITS (point noir)
  - Dans le dossier « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\NDVI\_1km\_V2.2.1\_

SMOOTHED\_LTA\ » (présence de 36 images (72 fichiers (img+hdr)), soit 1 par décennie, pour chaque type de résultat demandé (mean, median, etc))

- ATTENTION ! Les résultats de l'analyse « Long Term Average » utilisent un **code année allant de 1950 à 1964** qui a une signification précise : confer illustration ci-dessous.
- Les images de la **valeur moyenne** auront comme code année « **1962** »

year	output IMG content	year	output IMG content
1950	minimum ( 0% decile)	1951	10% decile
1960	maximum (100% decile)	1952	20% decile
1961	Number of valid measurements	1953	30% decile
1962	Mean	1954	40% decile
1963	Standard Deviation	1955	50% decile
1964	% of valid measurements	1956	60% decile
		1957	70% decile
		1958	80% decile
		1959	90% decile

Source : page 168 of SPIRITS official manual

Ces images LTA ne seront pas visualisées dans cet exercice.

Référence dans le tutoriel officiel de SPIRITS : page 82.

### 11.6.8.2. Calcul d'anomalie du NDVI via la méthode « Relative difference »

Reference dans le tutoriel officiel de SPIRITS : page 84 et 87.

La **différence relative** se calcule comme suit:

- $\text{Différence\_relative}_{y,p} = (\text{valeur}_{y,p} - \text{LTA}_p) / \text{LTA}_p$
- Exemple :  $-75\% = (0.2 - 0.8) / 0.8$

avec y= year, et p= period in the year (dekad).

La différence relative correspond donc à la **variation en % par rapport à « la situation moyenne » (LTA mean, ou LTA median)**, pour la période étudiée. Par exemple,

- Si pour un endroit et une décennie donnés, on observe un NDVI de 0.2 et que le LTA NDVI correspondant est de 0.8, alors on obtient une différence relative de  $(0.2 - 0.8) / 0.8 = -0.6 / 0.8 = -75\%$ , c'est-à-dire que le **NDVI est de 75% inférieur à la LTA**.

- Si NDVI = 0.8 et LTA = 0.2, alors la RD =  $(0.8-0.2)/0.2 = 300\%$ , soit un NDVI supérieur de 300% à la LTA.

Pour calculer une anomalie de type « Relative Difference » :

- **Processing > Temporal > Anomalies > Time series > et création d'un "New" scenario (bouton "New")**
- Ensuite,
  - Soit paramétrer le « Difference scenario » comme indiqué dans la fenêtre ci-dessous, sauvegarder éventuellement le « scenario file » (SNS)
  - Soit ouvrir (File > Open) le « scenario file » (SNS) préalablement établi pour vous disponible dans le répertoire « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\SNS\RELATIVE\_DIFFERENCE\_SNDVI\_SEN\_2002\_LTA\_1999\_2018.sns »

**Difference scenario**

File Help

Saved RELATIVE\_DIFFERENCE\_SNDVI\_SEN\_2002\_LTA\_1999\_2018.sns

General scenario parameters

Scenario name: RELATIVE\_DIFFERENCE\_SNDVI\_SEN\_2002\_LTA\_1999\_2018

Difference parameters

Diff. operator: RelDif to historical average

Periodicity: Dekad

ACTUAL IMAGES: PiDiSi.img

Input path: C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\NDVI\_1km\_V2.2.1\_SMOOTHED

Prefix: cgls      Date format: YYYYMMDD      Suffix: k

Flags: UNI-Flagged

REFERENCE IMAGES: PrDrSr.img

Reference files:  use existing       calculate new

Ref. path: C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\NDVI\_1km\_V2.2.1\_SMOOTHED\_LTA

Prefix: cgls      Date format: YYYYMMDD      Suffix: k

First year:      Last year:       Include year of Date

OUTPUT IMAGES: PoDoSo.img

Output path: C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\NDVI\_1km\_V2.2.1\_RELATIVE\_DIFFERENCE\_2002

Prefix: cgls      Date format: YYYYMMDD      Suffix: RD

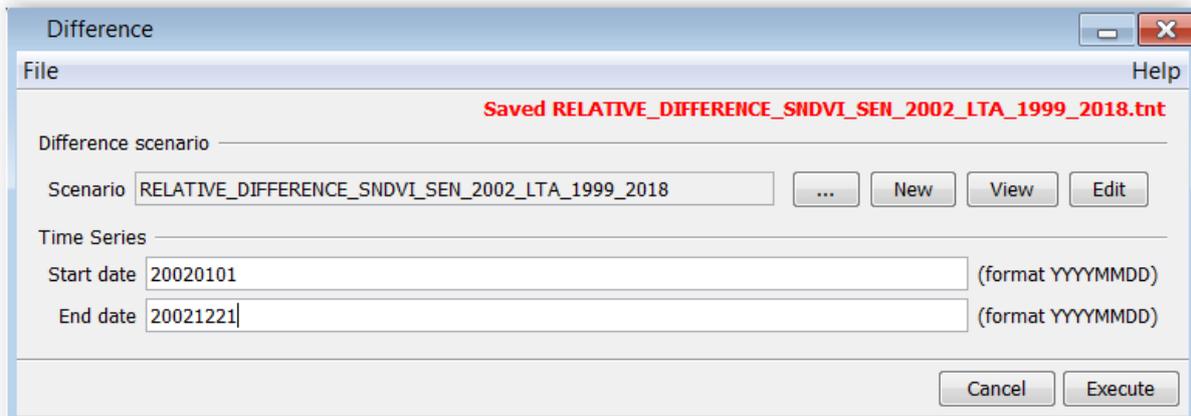
Diff. Min.:      Max.:       Include year of Date

Cancel      Save & Close

Ensuite :

- Soit paramétrer la tâche de la fenêtre « Difference » comme indiqué ci-dessous, et éventuellement sauvegarder le « task file » (TNT)

- Dans « Time Series », indiquer l'année (ou les années) pour lesquelles calculer des images d'anomalie.
- Soit ouvrir (File > Open) le "task file" (TNT) "RELATIVE\_DIFFERENCE\_SNDVI\_SEN\_2002\_LTA\_1999\_2018 »
- Exécuter la tâche (temps d'exécution : 10 secondes)



- Vérifier le résultat :
  - Dans le panneau « Results » de SPIRITS (point noir)
  - Dans le dossier "C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\NDVI\_1km\_V2.2.1\_RELATIVE\_DIFFERENCE\_2002\" » (présence des 72 fichiers (36 images (1 par décade)))

### 11.6.8.3. Visualisation des images d'anomalie de NDVI

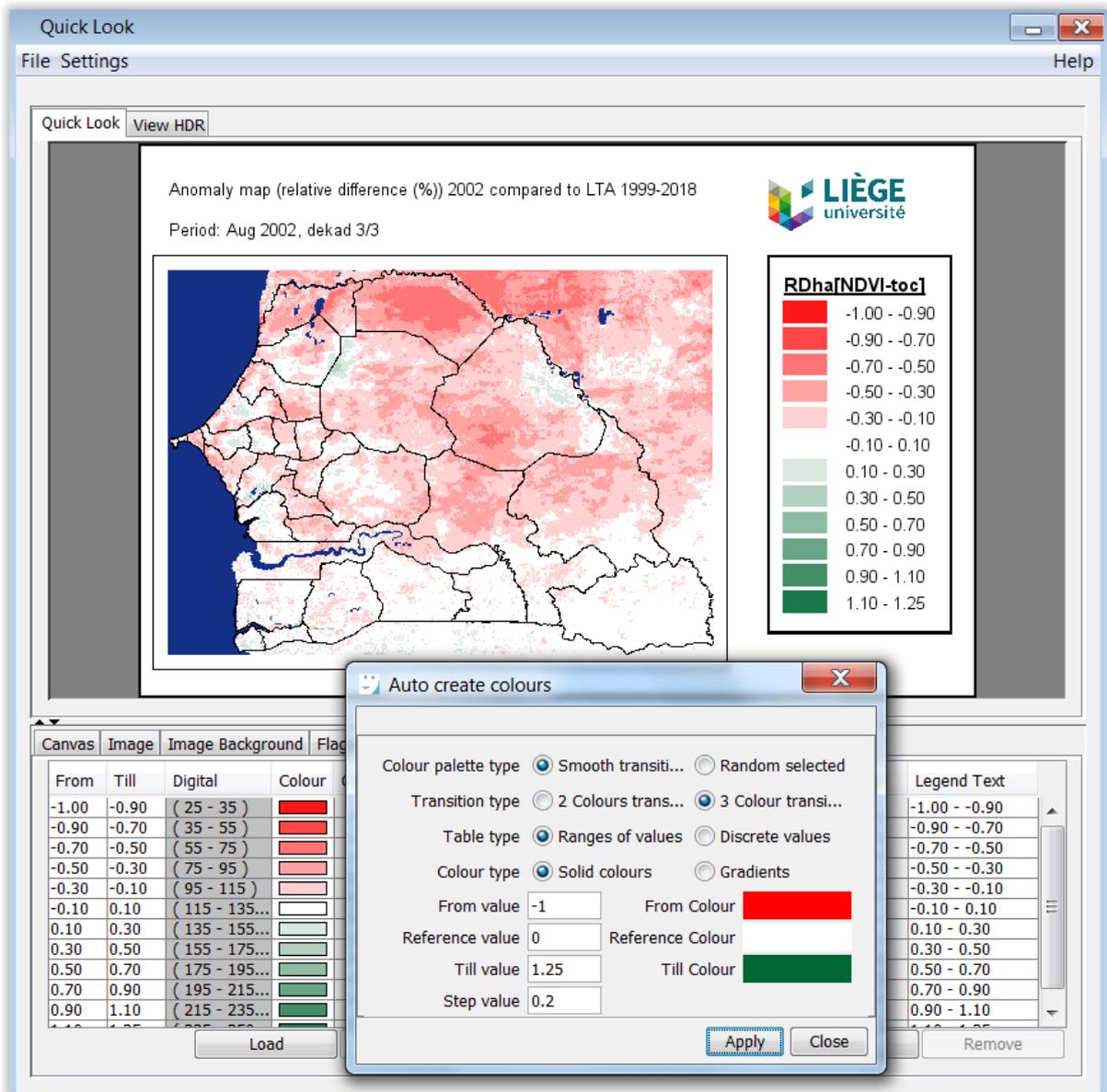
Une fois les images d'anomalies produites, elles peuvent être visualisées via la réalisation d'un map template (confer les indications données à la section 11.6.5 page 349).

- Analysis > Maps > Create template

Pour gagner du temps, utiliser le map template préalablement créé pour vous et disponible dans le dossier « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\QNQ\Map\_SEN\_TEMPLATE\_RELATIVE\_DIFFERENCE\_2002.qnq ». Posez-vous cependant la question du meilleur choix des couleurs de la légende et des classes de valeurs à utiliser :

- Pour le choix des couleurs, s'intéresser à la gamme de variation des valeurs des images d'anomalie, accessible via le header file de ces images :
  - `values = {RDha[NDVI-toc], -, 0, 250, 25, 250, -1.25, 0.01}`
  - Minimum =  $(0.01 * 25) - 1.25 = 0.25 - 1.25 = -1$ , soit - 100%, ce qui correspond bien à la limite théorique inférieur de la différence relative.
  - Maximum =  $(0.01 * 250) - 1.25 = 2.5 - 1.25 = 1.25$ , soit + 125%. !! Cette valeur maximale constitue une **limitation dans la représentation des anomalies**

**positives** (confer l'exemple (extrême) chiffré ci-dessus où on arrive à une DR de +300%). (confer à ce propos le tutoriel officiel de SPIRTIS page 85 et le manuel de SPIRITS page 170 : il est probable que les valeurs dépassant cette limite supérieure soient automatiquement converties vers cette limite supérieure).



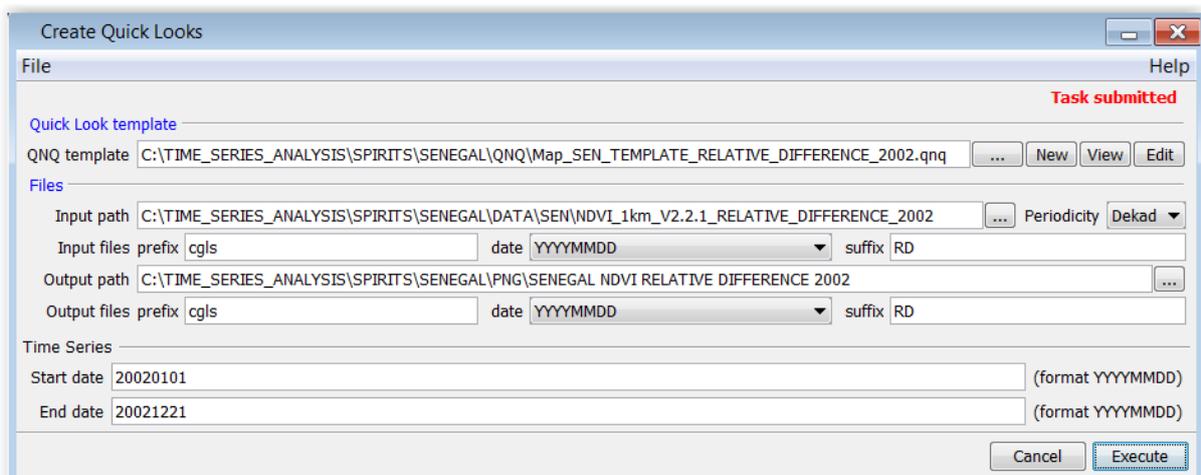
Cette carte d'anomalie (ci-dessus) de fin août 2002 (20020821) met bien en évidence les valeurs de NDVI très inférieure à la moyenne LTA (-50% à -70%), en particulier dans l'extrême nord du Sénégal (département de Dagana).

Une fois le « map template » réalisé, vous pouvez l'enregistrer et l'utiliser pour produire toutes les cartes d'anomalie pour toutes les 36 décades de 2002. Pour ce faire :

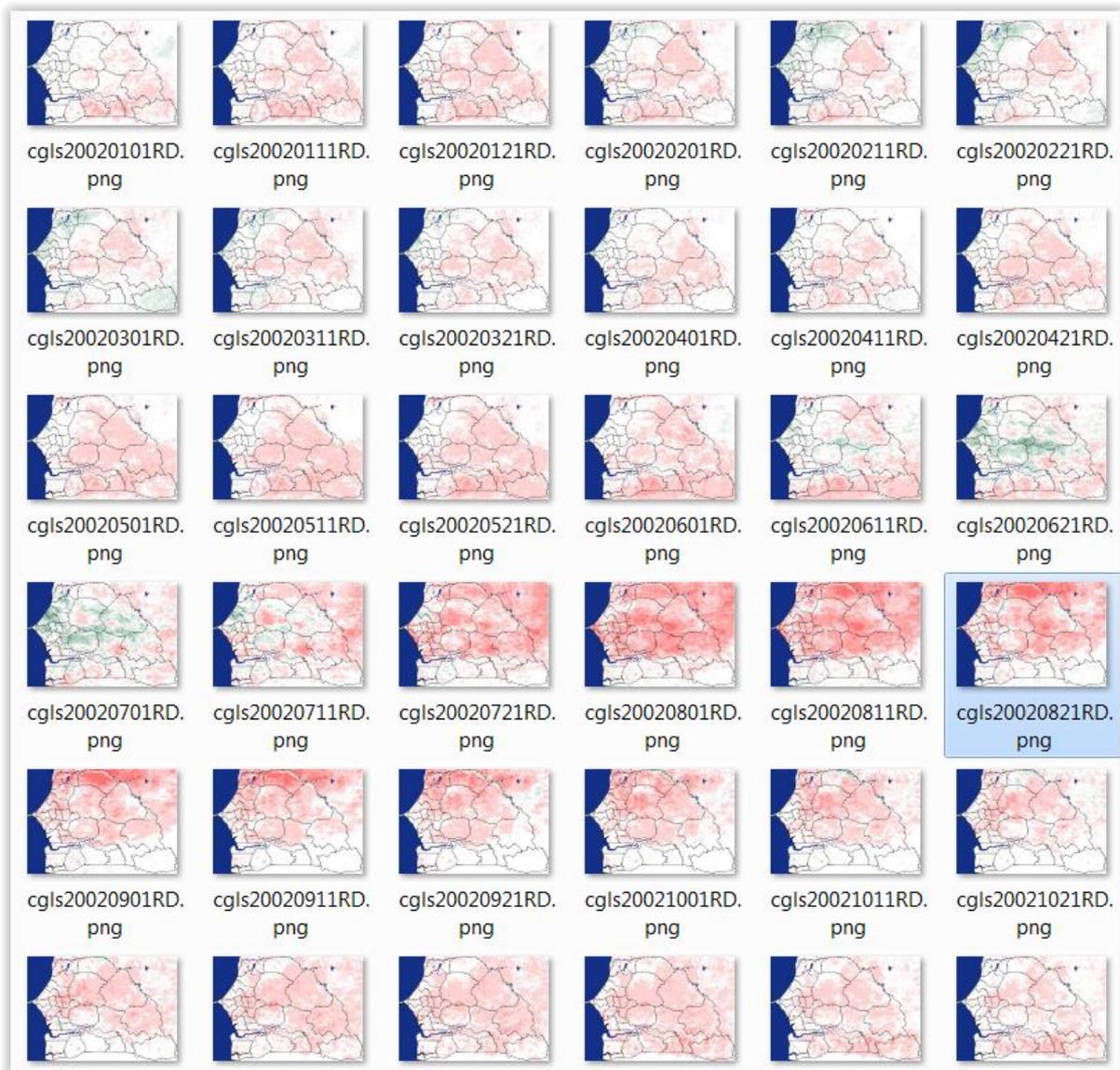
- Analysis > Maps > Map series > Time series

Ensuite:

- Soit paramétrer la fenêtre “Create Quick Look” comme dans l’image ci-dessous, sauvegarder éventuellement le task file et exécuter la tâche
- Soit, pour gagner du temps, ouvrez (File > Open) le « task file » (TNT) créé préalablement pour vous et disponible dans le répertoire « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\TNT\RELATIVE\_DIFFERENCE\_SNDVI\_SEN\_2002\_LTA\_1999\_2018.tnt », et exécutez-le (temps d’exécution : 30 secondes).



- Vérifier le résultat :
  - Dans le panneau « Results » de SPIRITS (point noir)
  - Dans le dossier “ C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\PNG\SENEGAL NDVI RELATIVE DIFFERENCE 2002\ » (présence des 36 cartes pour les 36 décades de 2002) (confer image ci-dessous (cartes rognées ici)).



**L'ensemble de ces cartes d'anomalie (ci-dessus) pour 2002 mettent bien en évidence les valeurs de NDVI qui sont en majorité inférieures à la moyenne LTA (couleur rouge), en particulier dans l'extrême nord du Sénégal en juillet, août et septembre.**

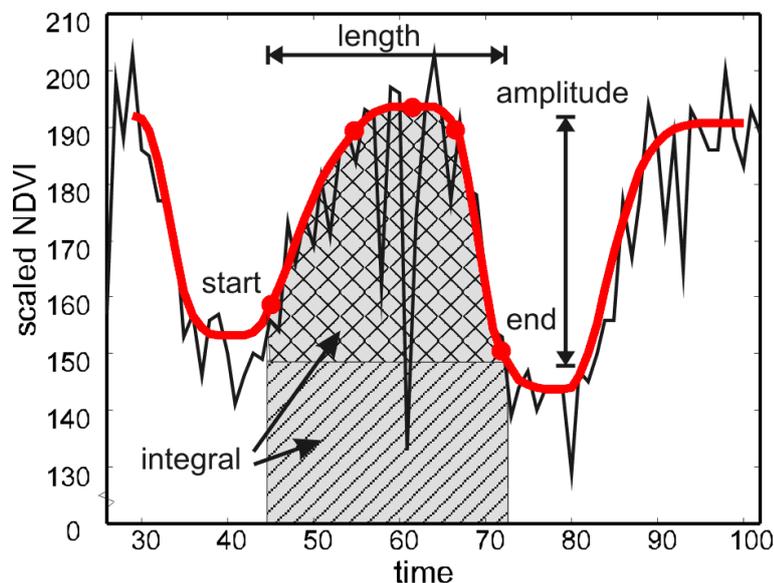
Notez la possibilité de créer des cartes d'anomalie sur des périodes d'un mois via l'agrégation temporelle préalable des images NDVI et le calcul de LTA mensuel. Une carte mensuelle a l'avantage (par rapport à une carte décadaire) de représenter via une seule image les conditions de végétation pour un mois complet (il faudrait 3 images décadaires aussi non).

## 11.6.9. Analyse des variables phénologiques

### 11.6.9.1. Présentation du concept d'extraction de variables phénologiques à partir de courbes d'évolution du NDVI

Une série de paramètres peuvent être calculés à partir d'une courbe d'évolution du NDVI correspondant à une saison de végétation (courbe rouge dans la figure ci-dessous par exemple). Par exemple :

- Les dates de début/de fin de la saison de végétation et les valeurs de NDVI associées (4 paramètres)
- La longueur de la saison (période), l'amplitude du NDVI entre le début et la fin de la saison, différentes surfaces (intégrales) sous la courbe de NDVI, etc



Ces paramètres ont une connotation « phénologique », c'est-à-dire qu'ils peuvent être utilisés pour caractériser le développement « phénologique » de la végétation.

La **phénologie de la végétation** correspond typiquement à la succession d'événements périodiques déterminée par les variations saisonnières du climat, tels que par exemple la floraison, la feuillaison, la fructification, la coloration des feuilles des végétaux, la sénescence.

Ces paramètres peuvent être utilisés dans des modèles qui tentent de caractériser l'état de la végétation ou encore de prédire les rendements agricoles par exemple.

### 11.6.9.2. Calcul des variables phénologiques à partir des images NDVI temporellement lissées (résultat = des images correspondant à des paramètres phénologiques)

Dans SPIRITS, la fonction « Pheno » accessible via le menu

- « Processing > Temporal > Times Statistics »

permet de calculer 12 « paramètres phénologiques ». Ils sont décrits dans la figure ci-dessous. Remarque : le « Pok » n'est pas à proprement parlé un « paramètre phénologique » !

<b>Vav</b>	Average value (or Mean)
<b>Vmn</b>	Minimum value
<b>Vmx</b>	Maximum value
	Vav, Vmn and Vmx have the same data type and scaling as the input IMGs
<b>Aup</b>	Largest increase (angle) between subsequent periods
<b>Adn</b>	Largest decrease (angle) between subsequent periods
	Aup and Adn use angles (-90 to +90 degrees) scaled to BYTE (0-180)
<b>Rsd</b>	Relative Standard deviation (with N as denominator, not N-1)
<b>Rrg</b>	Relative Range (Maximum - Minimum)
	Rsd and Rrg use % of potential range (Yhi-Ylo), scaled to BYTE (0-200)
<b>Pok</b>	% of good observations in series (not flagged for clouds/snow/...)
	Pok uses % of potential observations, scaled to BYTE (0-200)
<b>Dmn</b>	Relative date of (first) Vmn
<b>Dmx</b>	Relative date of (last) Vmx
<b>Dup</b>	Relative date of (first) Aup
<b>Ddn</b>	Relative date of (last) Adn
	Rel. position in time-frame between the reference date and the last IMG date, scaled to BYTE (0-200)

Figure 201 : Paramètres phénologiques calculables dans SPIRITS avec la fonction « Pheno » accessible via le menu « Processing > Temporal > Times Statistics ». Source : page 146 du manuel officiel de SPIRITS.

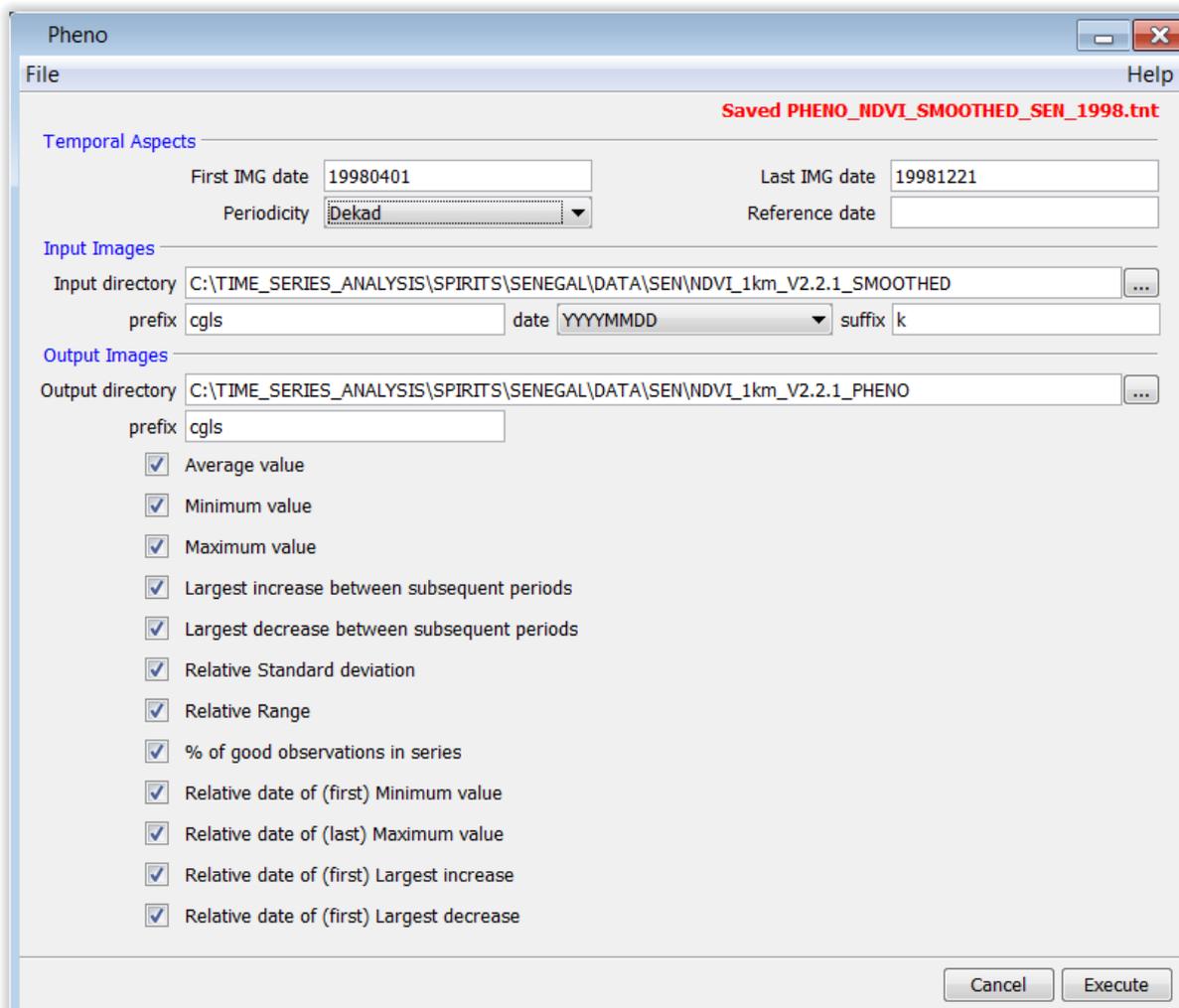
Paramétrer la tâche de calcul des 12 « paramètres phénologiques » :

Attention, malheureusement, cet outil **doit être exécuté autant de fois qu'il n'y a d'années à traiter et le paramétrage adapté à chaque année (confer Figure ci-dessous).**

Afin que le calcul des paramètres phénologiques soit le moins possible impacté par la longue saison sèche qui caractérise la plupart des départements du Sénégal, il est possible de définir une fenêtre temporelle dans laquelle calculer ces paramètres phénologiques. Cette fenêtre temporelle devrait idéalement être adaptée en fonction des différences de dynamique des saisons de végétation dans les différents départements, si ces différences sont significatives. Ces considérations dépassent cependant le cadre de cet exercice de découverte de SPIRITS. Dans le cadre de cet exercice nous nous contenterons de définir **une fenêtre temporelle identique pour tous les départements, entre avril (0401, décade 10) et décembre (1221, décade 36)** de chaque année, période qui semble d'ailleurs inclure complètement la saison de végétation dans le centre et le nord du Sénégal sur base des graphiques présentés à la section 11.6.6.4 page 366.

**Pour paramétrer le calcul des paramètres phénologiques :**

- Soit paramétrer la tâche de calcul des paramètres phénologiques comme indiqué dans l'image ci-dessous et sauvegarder éventuellement votre « Task file » (TNT)
- Soit, pour gagner du temps, ouvrir (**File > Open**) les « Task file » (TNT) préalablement établis pour vous, **pour chaque année**, par exemple pour 1998 « **C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\TNT\PHENO\_NDVI\_SMOOTHED\_SEN\_1998.tnt** »
- Attention aux paramètres « FIRST img date » et « LAST img date » : indiquer **YYYY0401** et **YYYY1221** respectivement en remplaçant « YYYY » par l'année à traiter.



- Cliquer sur « **Execute** » pour lancer le calcul des paramètres phénologiques (temps d'exécution : 4 secondes par année)
- Vérifier le résultat :
  - Dans le panneau « Results » de SPIRITS (point noir)
  - Dans le dossier « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\DATA\SEN\NDVI\_1km\_V2.2.1\_PHENO\ » (présence de **528 fichiers** = 22 années (1998-2019) \* 12 paramètres (= 12 images par saison) \* 2 fichiers (header + img)).
- Remarque : pour 2019, étant donné la série incomplète (qui s'arrête à 20190911), les paramètres phénologiques ne sont pas comparables à ceux des autres années !

**Le résultat de cette analyse correspond donc à 12 images par saison, avec pour une saison, 1 image par paramètre phénologique.**

**Comprendre aussi le header file des images values :...**

### 11.6.9.3. Visualisation des images correspondant aux paramètres phénologiques

Une fois les images des paramètres phénologiques produites, il est opportun de les visualiser pour :

- s'assurer d'interpréter correctement leurs valeurs (variable selon le type de paramètre)
- comprendre la répartition spatio-temporelle de ces paramètres (variation spatiale et inter-annuelle)

Pour visualiser les images de paramètres phénologiques, des « **map template** » peuvent être créés selon la même procédure que détaillée dans la section 11.6.5.1 page 350.

Pour créer ces « map template » :

- **Analysis > Maps > Create template**

**Modifier les paramètres de mise en page**, en particulier :

- L'image à mettre en page doit être sélectionnée
- Les flags doivent être importés
- Le titre de la légende et de la carte doivent correspondre à la variable représentée (utiliser les variables codées par « %chiffre\_de\_la\_variable »)
- **ATTENTION !!! La symbologie (onglet « Colours »)** doit être adaptée au type de variable présente dans chaque type d'image et à leurs valeurs! Cliquer sur « Auto » puis modifier comme désiré. Notez que les valeurs de la variable apparaissent dans les 2 premières colonnes de l'onglet « Colours » : « From » et « Till » et que les Digital Numbers (DN = valeurs digitales des pixels) associés (« Digital ») sont présents dans la 3<sup>ème</sup> colonne. Il est très important de bien comprendre la signification de ces valeurs !!
  - **Pour les paramètres Dmn, Dmx, Dup, Ddn :**
    - Ces valeurs correspondent à des **pourcentages de la période considérée dans l'analyse**. Par exemple si la date de la valeur maximale (Vmx) est la décade 25 et que la fenêtre temporelle utilisée va de début avril (décade 10) à fin décembre (décade 36) (et que le « reference date » est laissée vide), on obtient une valeur de Dmx de  $(25-10)/(36-10) = 58\%$ , c'est-à-dire que la Dmx correspond à une date légèrement ultérieure à la moitié de la fenêtre temporelle considérée dans l'analyse.
    - Sur base du header file de ces images, on voit que la gamme potentielle des valeurs de DN varie de 0 à 200, mais avec un « scaling factor » de 0.5, ce qui ramène la gamme potentielle des valeurs de

date exprimée en pourcentage de 0 à 100 ( $200 \times 0.5 = 100$ ). Les valeurs de DN réellement observées varient, dans le cas de l'exemple ci-dessous, entre 4 et 196, soit entre 2% et 98%.

`values = {Rel.Date of MAX, %, 0, 200, 4, 196, 0, 0.5}`

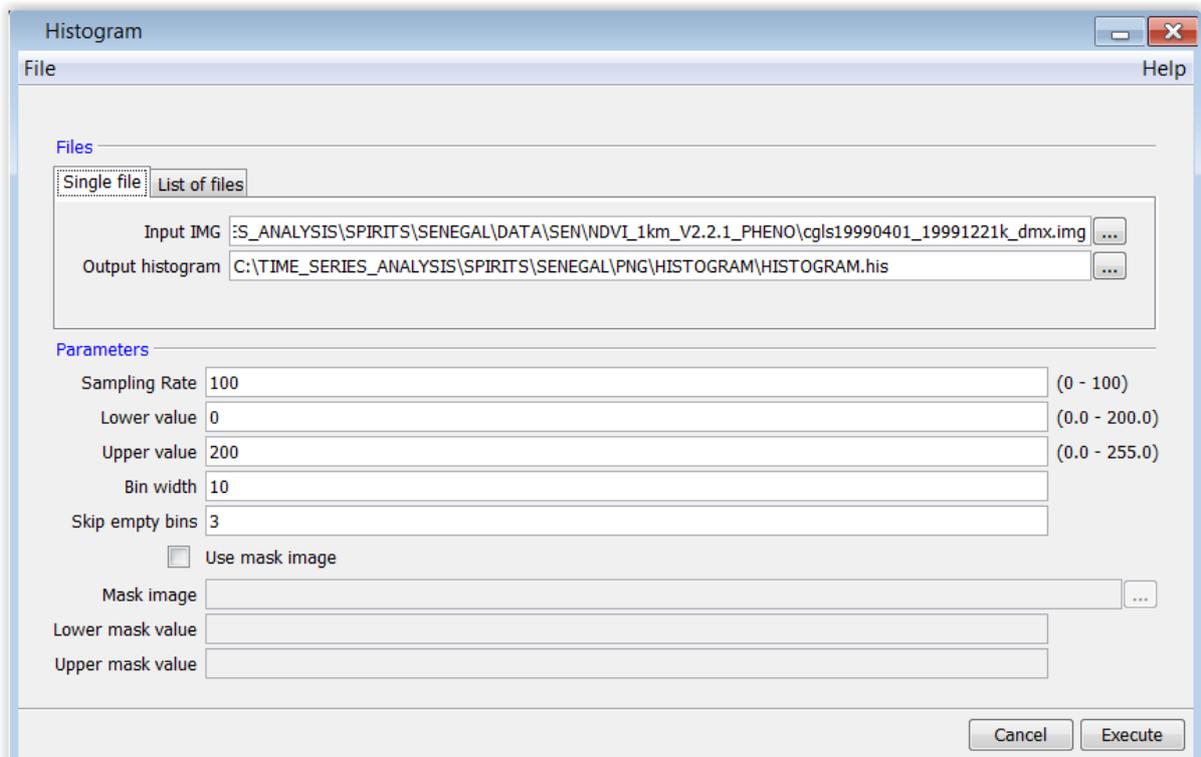
The screenshot shows the 'Quick Look' software interface. The main window displays a map titled 'PHENO PARAMETER Rel.Date of MAX 1999' with a legend on the right. The legend, titled 'Rel.Date of MAX', shows a color scale from yellow (0-10) to dark green (90-100), with a black box for 'insufficient data'. An 'Auto create colours' dialog box is open in the foreground, showing options for 'Colour palette type' (Smooth transit... selected), 'Transition type' (2 Colours tran... selected), 'Table type' (Ranges of valu... selected), and 'Colour type' (Solid colours selected). The dialog also shows 'From value' (0), 'Reference value' (50), 'Till value' (100), and 'Step value' (10). Below the dialog, a table shows the resulting color palette with columns for 'Fr...', 'Till', 'Digital', and 'Colour'.

Fr...	Till	Digital	Colour
0	10	( 0 - 20 )	Yellow
10	20	( 20 - 40 )	Light Green
20	30	( 40 - 60 )	Light Green
30	40	( 60 - 80 )	Light Green
40	50	( 80 - 100 )	Light Green
50	60	( 100 - 120 )	Light Green
60	70	( 120 - 140 )	Light Green
70	80	( 140 - 160 )	Light Green
80	90	( 160 - 180 )	Light Green
90	100	( 180 - 200 )	Light Green

- Sur cette base une symbologie allant de 0 à 100% par pas de 10% semble adaptée (confer image ci-dessus). Cependant cette symbologie ne met pas clairement en évidence la variabilité spatiale de la variable représentée. On voit dans l'exemple ci-dessous que très peu de pixels sont concernés par les faibles valeurs. Il convient dès lors d'adapter la symbologie pour avoir une plus grande variation de couleurs pour les valeurs plus élevées.
- Afin d'adapter au mieux la symbologie, il faut se faire une meilleure idée de la distribution des valeurs des pixels. Cela peut se faire via la création

d'un histogramme (graphique de la fréquence de distribution des valeurs de pixels) via l'outil :

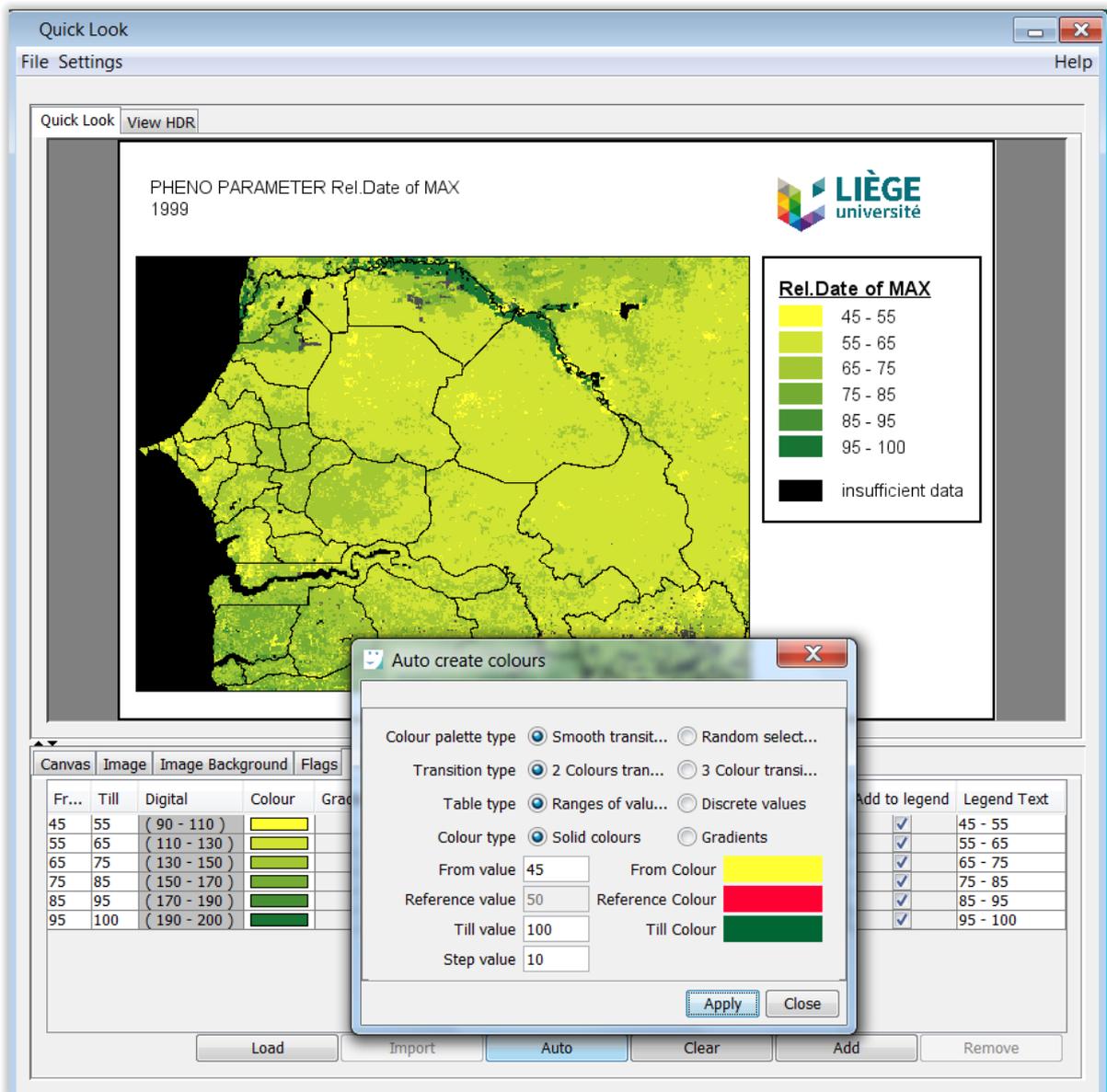
- Analysis > Images > Histogram > Tool



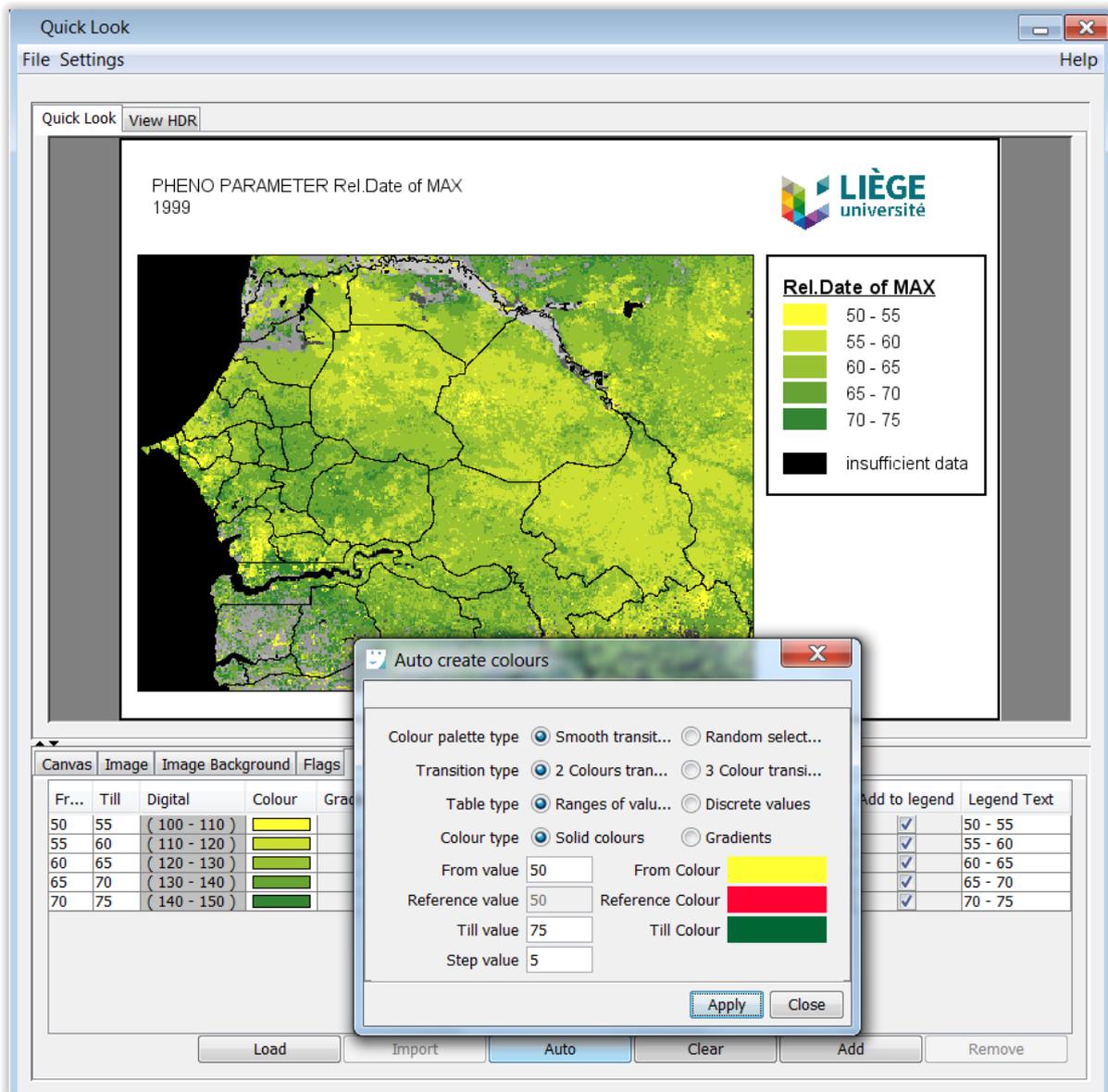
- et l'analyse du fichier texte en sortie (malheureusement, aucun graphique de type histogramme n'est produit !)

BIN	V	Y	Npix	Npix%	CUM%
1	0	0	167	0.05698	0.05698
2	9	4.5	124	0.04230	0.09928
3	20	10	15	0.00512	0.10440
4	30	15	36	0.01228	0.11668
5	40	20	156	0.05322	0.16990
6	50	25	6	0.00205	0.17195
7	60	30	17	0.00580	0.17775
8	70	35	3559	1.21422	1.39196
9	80	40	1504	0.51312	1.90508
10	89	44.5	1556	0.53086	2.43594
11	99	49.5	8096	2.76209	5.19803
12	109	54.5	75938	25.90759	31.10562
13	119	59.5	103904	35.44869	66.55431
14	129	64.5	57116	19.48613	86.04044
15	139	69.5	13314	4.54231	90.58275
16	149	74.5	18955	6.46683	97.04958
17	159	79.5	3123	1.06547	98.11505
18	169	84.5	481	0.16410	98.27915
19	179	89.5	994	0.33912	98.61827
20	189	94.5	4050	1.38173	100.00000

- Sur lequel on peut voir que il n'y a que ~ 2.5% de pixels (colonne CUM%) qui présentent des valeurs de DN  $\leq 89$  (colonne V = valeurs de DN) (valeur de % de date associée = 44.5, colonne Y)
- → la symbologie peut être adaptée pour appliquer la plus grande variabilité de couleurs aux DN compris entre 90 et 190 (valeurs de % de dates associées = 45-95, colonne Y) : confer image ci-dessous : l'amélioration est légère !



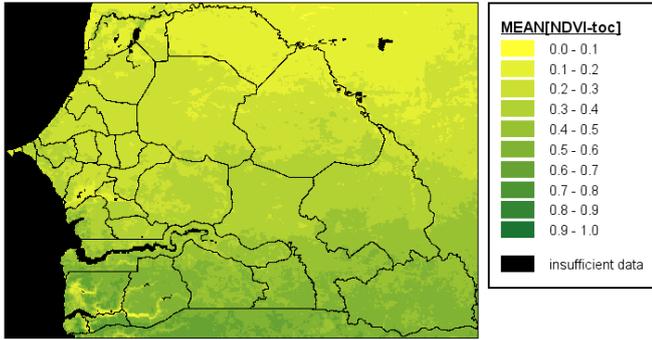
- Le rétrécissement de la gamme de valeurs à la gamme 50% à 75% augmente le contraste mais les pixels hors de cette gamme ne sont plus colorés (confer image ci-dessous).



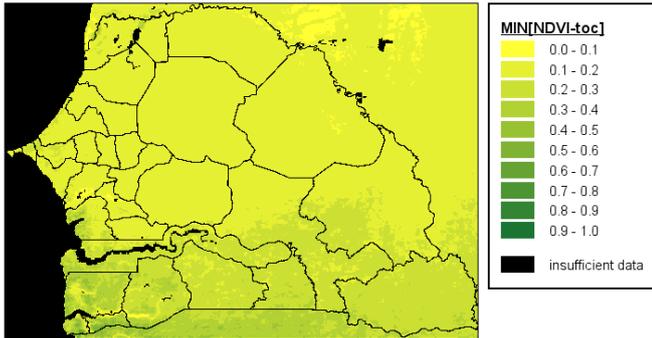
- Remarque : la symbologie à 3 couleurs présente un bug : elle n'attribue pas la « From colour » à la « From value » et remplace la « From colour » par une couleur intermédiaire, ce qui annihile la valeur ajoutée de cette option.

Les 11 « paramètres phénologiques » sont présentés pour l'année 2002 dans la figure ci-dessous.

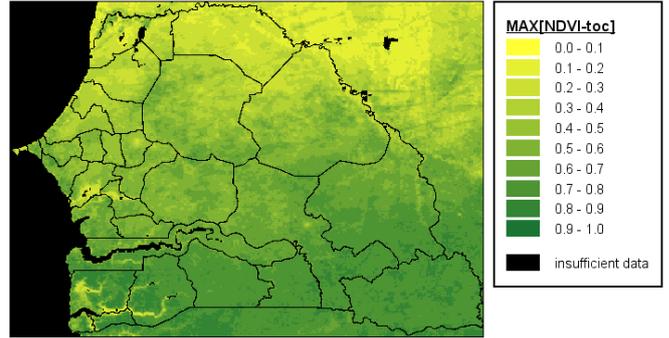
PHENO PARAMETER MEAN[NDVI-toc] 2002



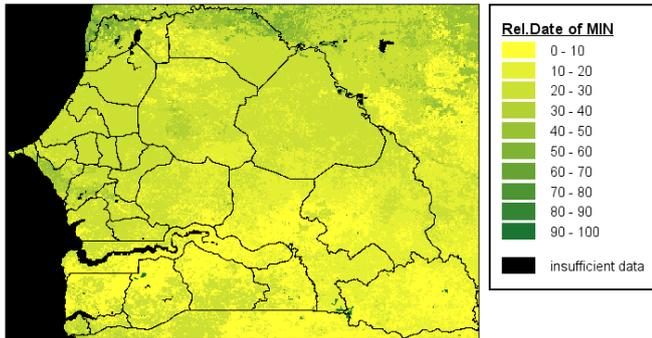
PHENO PARAMETER MIN[NDVI-toc] 2002



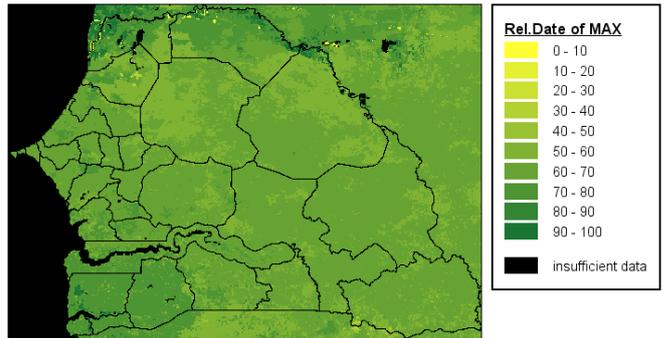
PHENO PARAMETER MAX[NDVI-toc] 2002



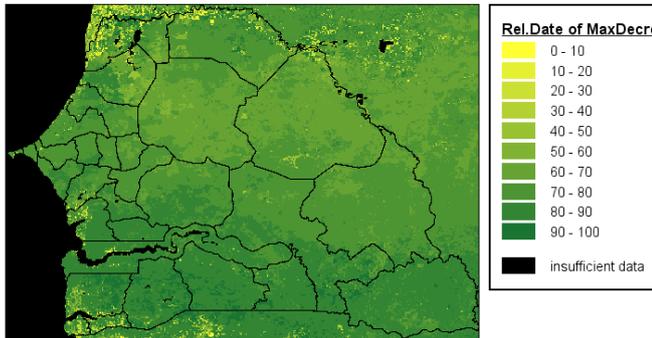
PHENO PARAMETER Rel.Date of MIN 2002



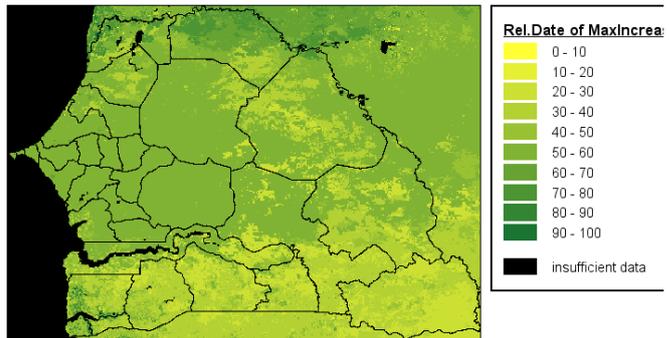
PHENO PARAMETER Rel.Date of MAX 2002



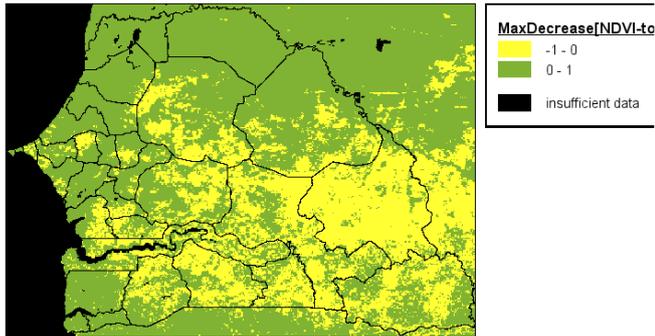
PHENO PARAMETER Rel.Date of MaxDecrease 2002



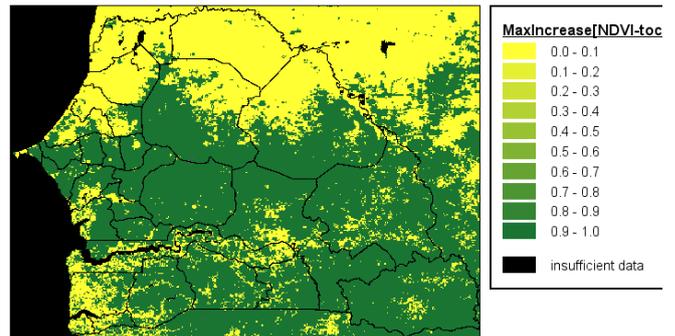
PHENO PARAMETER Rel.Date of MaxIncrease 2002



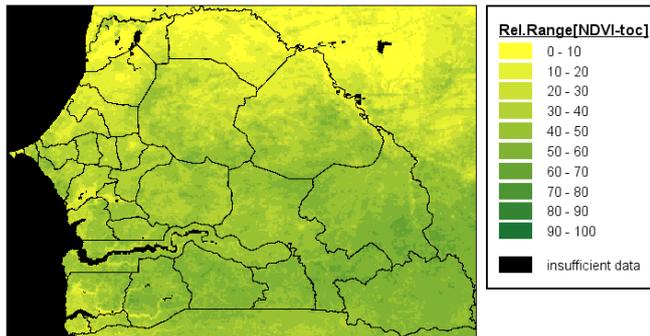
PHENO PARAMETER MaxDecrease[NDVI-toc] 2002



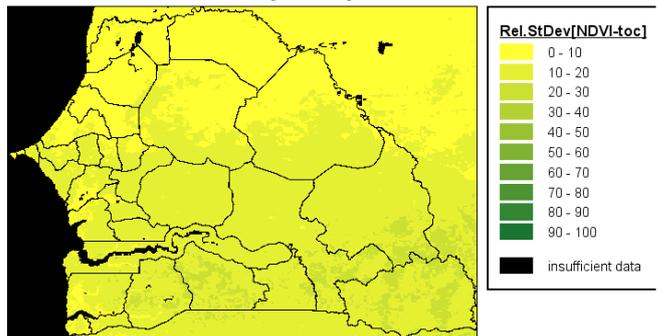
PHENO PARAMETER MaxIncrease[NDVI-toc] 2002



PHENO PARAMETER Rel.Range[NDVI-toc] 2002



PHENO PARAMETER Rel.StDev[NDVI-toc] 2002



Remarque: les images Aup et Adn sont quasiment binaires:

- Aup : valeurs de 90 et 91
- Adn : valeurs de 89 et 90

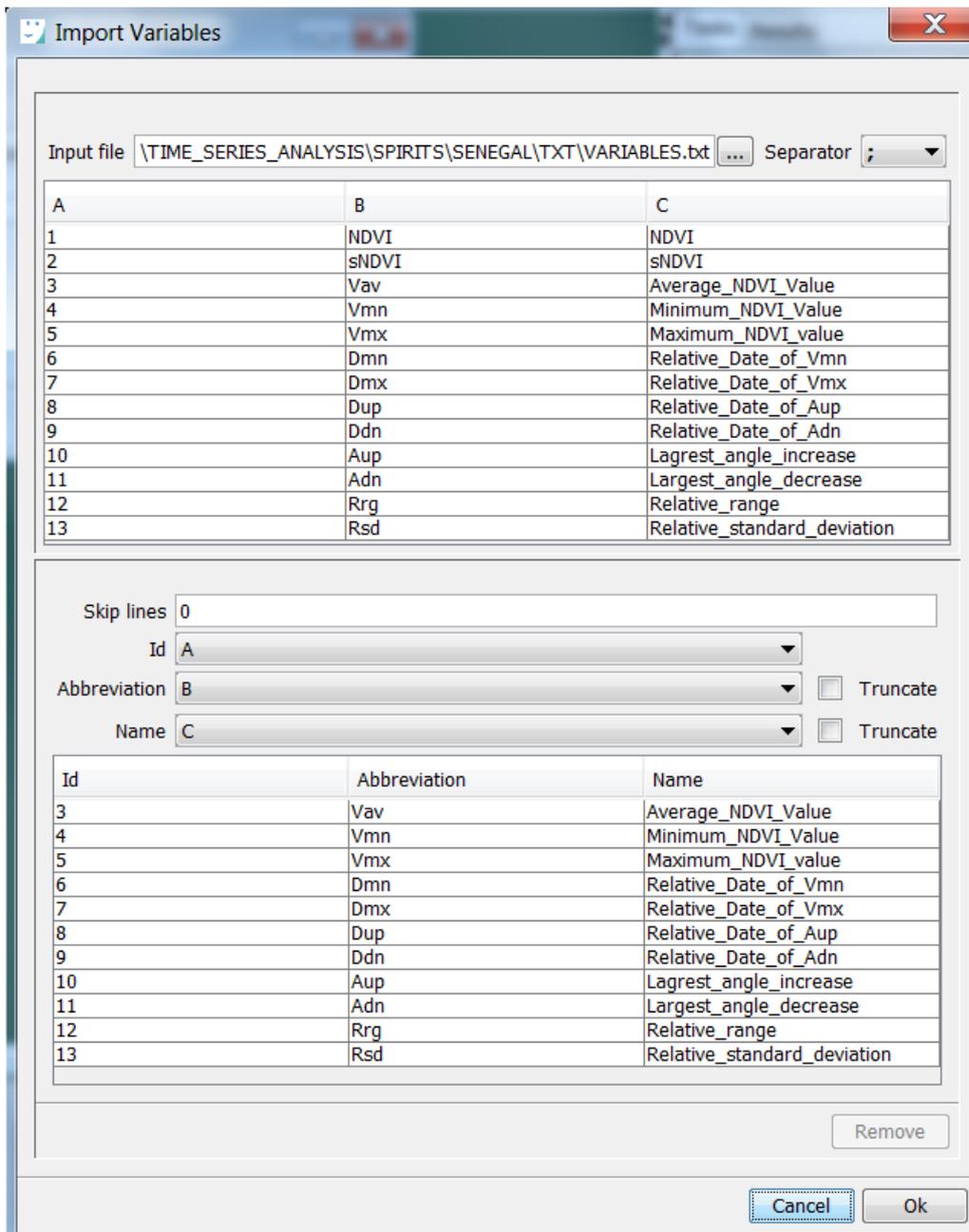
#### 11.6.9.4. Création de la structure de la base de données pour accueillir les variables phénologiques

Afin de réaliser l'extraction de statistiques sur les paramètres ou variables phénologiques, il est nécessaire de créer ces variables dans la structure de la base de données, similairement à ce qui a été fait à la section 11.6.6.1 page 353.

- Analysis > Database > Variable

Pour ce faire,

- Soit créer les variables manuellement via l'interface dédiée
- Soit importer le fichier texte, préalablement créé pour vous, qui reprend ces variables, disponible dans le répertoire : « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\TXT\VARIABLES.txt » (confer image ci-dessous). (Si vous aviez déjà réalisé cette opération à la section 11.6.6.1 page 353, inutile de le refaire.)



### 11.6.9.5. Extraction des statistiques par zone (RUM) pour les variables phénologiques

#### Création de « fichiers liste » ou « list file » des images des paramètres phénologiques

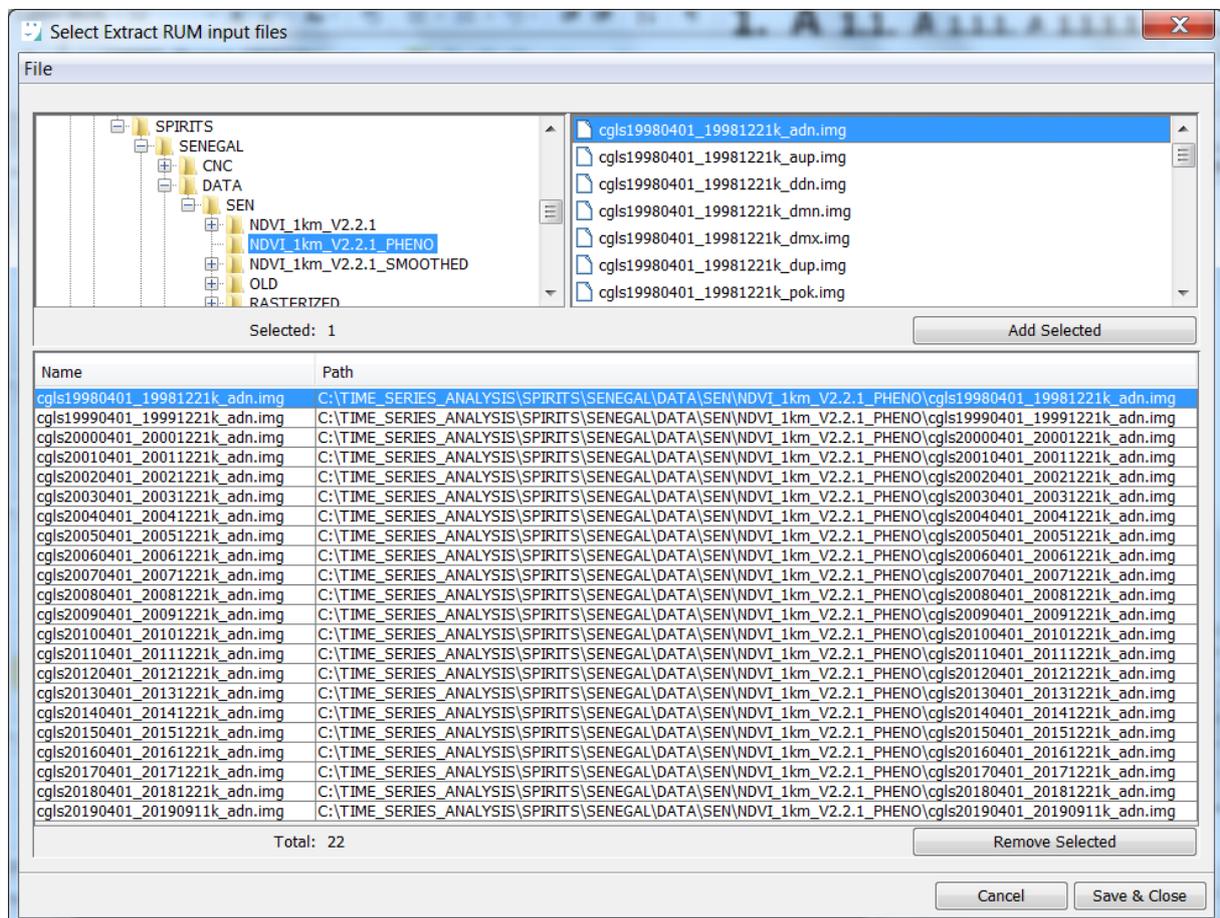
Pour extraire les statistiques à partir des images correspondant aux paramètres phénologiques, il faut préalablement créer des « **fichiers listes** » (« list file »).

Chaque fichier liste listera l'ensemble des 22 images (car 22 années étudiées, entre 1998 et 2019) correspondant à un paramètres phénologique donné.

(Confer page 31 et suivantes du manuel officiel de SPIRITS pour plus d'information sur la création de « list file »).

Pour créer ces fichiers liste :

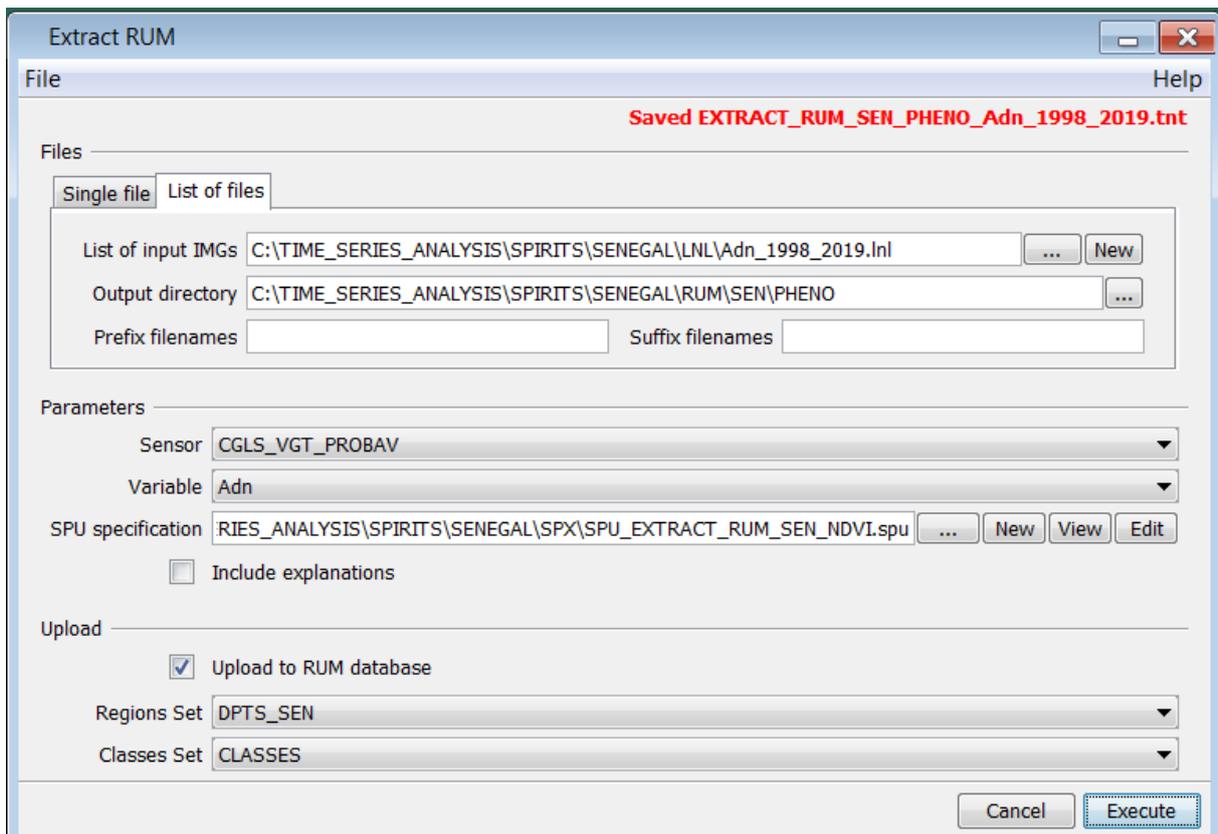
- **Analysis > Database > Extract > Tool > Onglet List of files > New**
- Sélectionner les 22 images correspondant à un paramètre phénologique
- Sauvegarder la liste (File > Save as) dans le répertoire « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\LNL\ » avec comme nom, par exemple pour le paramètre Adn, « Adn\_1998\_2019 ».
- Ensuite,
  - Soit répéter l'opération pour les autres paramètres,
  - Soit faites de simples copier/coller du fichier texte de liste et adaptez-les via remplacement de texte.
  - Soit se contenter des fichiers listes préalablement créés pour vous dans le répertoire « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\LNL\ »



Pour extraire les statistiques des listes d'images phénologiques:

- Rester dans le menu « **Analysis > Database > Extract > Tool > Onglet List of files** »
- Ensuite :
  - Soit paramétrer la fenêtre comme indiqué dans l'image ci-dessous, exécuter, et éventuellement sauvegarder le « task file » correspondant dans le dossier « TNT ». Puis répéter l'opération pour chaque variable phénologique.

- !! Ne pas mettre de préfixe et suffixe ici !
- Soit ouvrir (File > Open) le « task file » préalablement créé pour vous pour le paramètre « Adn » et disponible dans le répertoire « C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\TNT\ ». L'exécuter. Puis exécuter l'outil pour les 10 autres paramètres phéno en modifiant à chaque fois dans l'interface de l'outil, le fichier liste input et la variable (section « Parameters »)!



- Vérifier le résultat :
  - Dans le panneau « Results » de SPIRITS (point noir)
  - Dans le dossier "C:\TIME\_SERIES\_ANALYSIS\SPIRITS\SENEGAL\RUM\SEN\PHENO\" (présence des 242 fichiers de résultat (11 paramètres \* 22 années = 242))

#### 11.6.9.6. Visualisation des statistiques par zone (RUM) pour les variables phénologiques

Une fois extraites, les statistiques peuvent être explorées via consultation de la base de données et la réalisation de graphiques, comme indiqué préalablement à la section 11.6.6.4 page 366.

**Pour consulter la base de données produite :**

- Analysis > Database > Browse

Type	Region	Class	Method	Threshold	Sensor	Variable	Periodicity
TS	Podor	OM	OM	0	CGLS_VGT_...	Vmx	K
TS	Dagana	OM	OM	0	CGLS_VGT_...	Vmx	K
TS	Louga	OM	OM	0	CGLS_VGT_...	Vmx	K

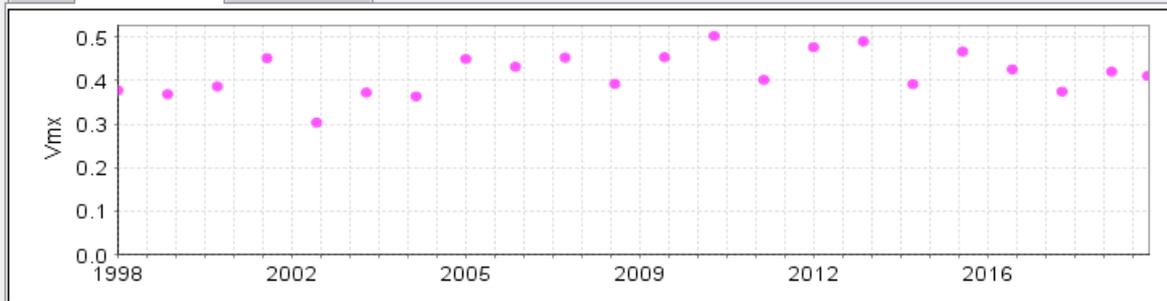
Total Entries: 31

Page:1/1

Prev

Next

Table Chart Preview Matrix Preview



Total Entries: 22

Type	Region	Class	Method	Threshold	Sensor	Variable	Periodicity
TS	Gossas	OM	OM	0	CGLS_VGT_...	Vmx	K
TS	Pikine	OM	OM	0	CGLS_VGT_...	Vmx	K
TS	Dakar	OM	OM	0	CGLS_VGT_...	Vmx	K

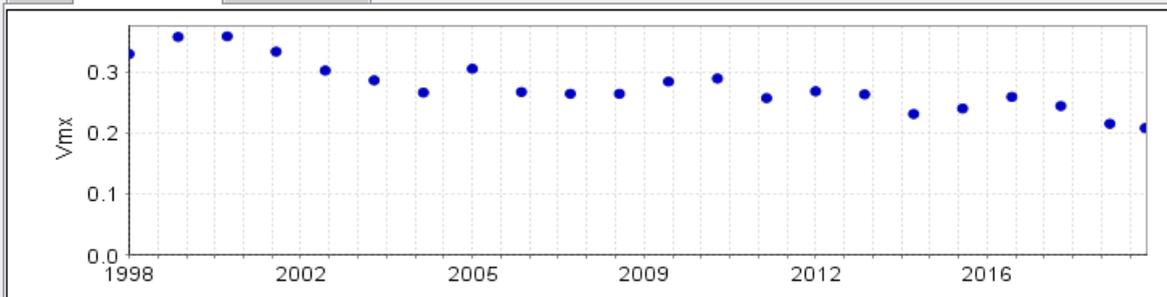
Total Entries: 31

Page:1/1

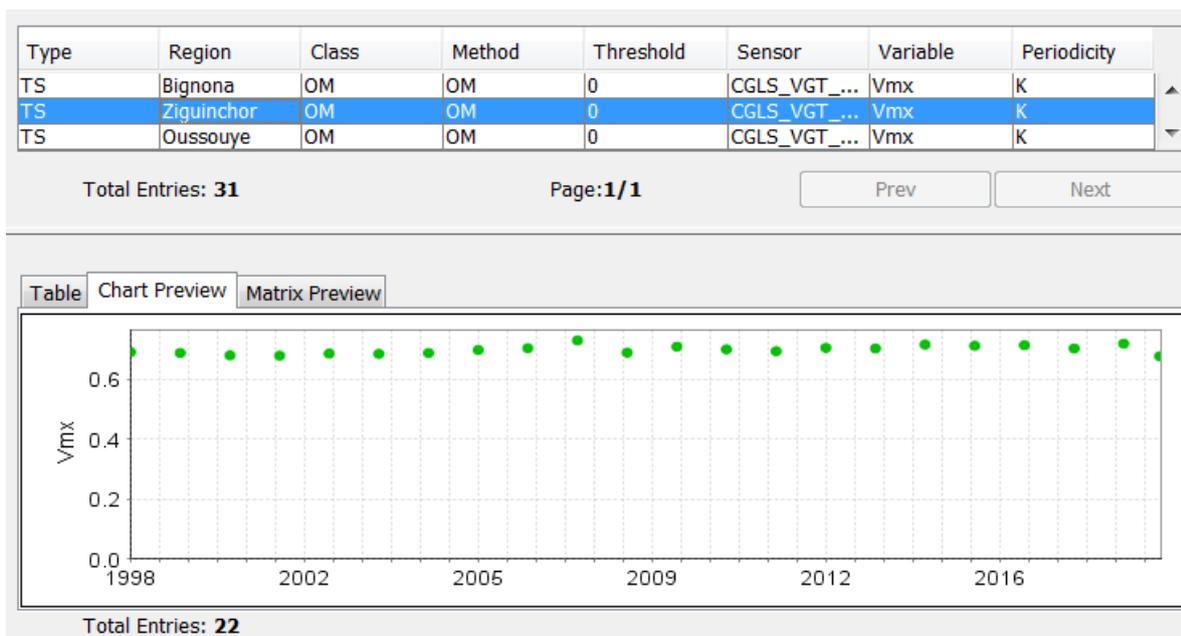
Prev

Next

Table Chart Preview Matrix Preview



Total Entries: 22



On retrouve pour le paramètre Vmx (maximum NDVI value) le même comportement que celui observé à la section 11.6.6.4 page 366 pour les départements de Dagana (Vmx faible et irrégulier), Pikine (Vmx décroissant avec le temps) et Ziguinchor (Vmx haut et régulier).

Notons la possibilité de calculer **d'autres « paramètres phénologiques »** via le menu (qui ne sera pas exploré dans le cadre de cet exercice):

- « Processing > Temporal > Phenology > Season detection »

Cet outil permet de détecter le **nombre de saisons** par année, **les dates de début, maximum et fin de saison**, de même que les **valeurs de NDVI (par exemple) associées** et la **longueur de la saison**. Confer le manuel officiel de Spirits, page 148 et suivante.

## 12. BFAST : Breaks For Additive Season and Trend (dans R et RSTUDIO)

<p><b>Objectifs pédagogiques</b></p>	<p>Se familiariser à l'utilisation du langage de programmation R via les logiciels R et R-Studio pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Télécharger des images MODIS</b> (MODIS Fixed sites)</li> <li>• <b>Analyser des séries temporelles</b> d'images MODIS, et en particulier :             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Créer une figure représentant une image MODIS (visualisation)</li> <li>○ Analyser une série temporelle d'images MODIS avec le <b>package BFAST</b> permettant notamment de :                 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Décomposer une série temporelle en : tendance (trend), saisonnalité (season), cassure (break), bruit (remain) (fonction « bfast() »)</b></li> <li>▪ <b>Identifier en presque temps réel (near real time) les cassures (breaks) dans les séries temporelles (fonction « bfastmonitor() »)</b></li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Données</b></p>	<p>Le dossier associé à cet exercice est le dossier «...\<b>8_SERIE_TEMPORELLE_BFAST</b>\...» (~ 20 Mo).</p> <p>Téléchargez ce dossier sur votre ordinateur en local dans votre répertoire de travail et décompressez-le. ATTENTION ! Voyez la section 1.2 page 19 pour plus d'information sur l'accès aux données.</p> <p>Ce dossier, présenté en détails à la section 12.2, ne contient pas de données (pas nécessaire pour cet exercice). Il contient par contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Le code R à utiliser « R_CODE_BFAST.R »</b></li> <li>• Des exemples de graphiques résultant du code</li> <li>• Des ressources complémentaires (documents pdf)</li> </ul>
<p><b>Logiciel ou application</b></p>	<p><b>BFAST (package R)</b> (<a href="http://bfast.r-forge.r-project.org/">http://bfast.r-forge.r-project.org/</a>)  <b>R et RSTUDIO</b> (<a href="https://www.r-project.org/">https://www.r-project.org/</a> et <a href="https://rstudio.com/">https://rstudio.com/</a>)</p>
<p><b>Temps approximatif</b></p>	<p>~ 2 heures (45 minutes d'introduction et 1h15 de découverte/compréhension/application du code R)</p>

<b>Prérequis</b>	Il est fortement préférable que l'apprenant ait déjà quelques notions de programmation, idéalement dans R. Le non initié risque fort de ne pas s'y retrouver.
------------------	---

# série temporelle, basse résolution spatiale, indice de végétation

## 12.1. Introduction

Les sections suivantes présentent d'abord le contenu du dossier de l'exercice, le package R « BFAST » et ses concepts principaux, le tutoriel source sur lequel est basé cet exercice, la manière d'installer les logiciels R et RSTUDIO, la présentation des images MODIS « MOD13Q1 » qui seront utilisées pour l'exercice, et l'outil web MODIS « Fixed Sites Subsets Tool » qui permet d'accéder facilement à certaines données MODIS. Il n'est pas nécessaire d'explorer en détails tous les liens qui sont donnés dans ces sections.

Ce n'est qu'à la section « 12.8 Utilisation de BFAST dans R et RSTUDIO » page 414 que l'exercice pratique commence réellement via l'utilisation du code R « R\_CODE\_BFAST.R ». Pour bien comprendre ce que le code R fait, les indications des sections précédentes doivent avoir été parcourues.

## 12.2. Contenu du dossier de l'exercice

Le dossier relatif à cet exercice est le dossier suivant :

- « **8\_SERIE\_TEMPORELLE\_BFAST** » qui contient :
  - « **R\_CODE\_BFAST.R** » le code R à utiliser pour cet exercice (adapté depuis le tutoriel source présenté à la section 12.4)
  - Documents PDF :
    - « **bfast R PACKAGE MANUAL.pdf** »: le manuel du package R « BFAST ».
    - « **MODISTools R PACKAGE MANUAL.pdf** » le manuel du package R « MODISTools » pour travailler sur les données MODIS dans R.
    - « **MOD13\_User\_Guide\_V6.pdf** » : le guide d'utilisateur des produits MODIS avec beaucoup d'information techniques sur ces produits.
  - « **RSE PAPERS JAN VERBESSELT** » : les 3 articles scientifiques de Jan VERBESSELT en lien avec le développement et l'utilisation de BFAST.
  - « **PLOT** » : un dossier pour recueillir les graphiques (plots) générés par l'analyse BFAST pour différents sites, avec certains graphiques déjà générés lors de tests.

## 12.3. Présentation de BFAST (package de R)

« BFAST, Breaks For Additive Season and Trend » permet la décomposition de séries temporelles en différentes composantes : une tendance (anglais : « trend »), un aspect saisonnier (anglais : « season »), et reste (anglais : « remainder ») et propose une série de méthodes pour détecter et caractériser les changements (dont des cassures (anglais : « breaks » qui sont des changements brutaux et importants) au sein d'une série temporelle.

Jetez un œil rapide aux pages web de référence suivantes :

- Projet home page : <http://bfast.r-forge.r-project.org/>
- Project summary page: <http://r-forge.r-project.org/projects/bfast/>

Source: <http://bfast.r-forge.r-project.org/>

### 12.3.1. Fonction “BFAST”

La fonction “BFAST estimates the **time and number of abrupt changes** within time series, and characterizes change by its **magnitude and direction.**”

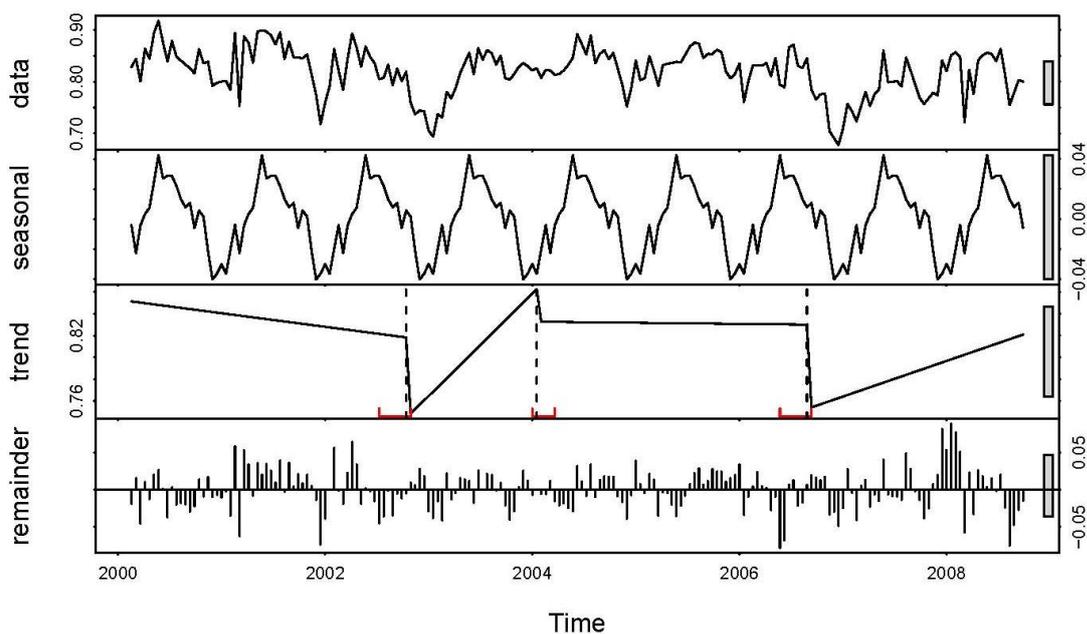
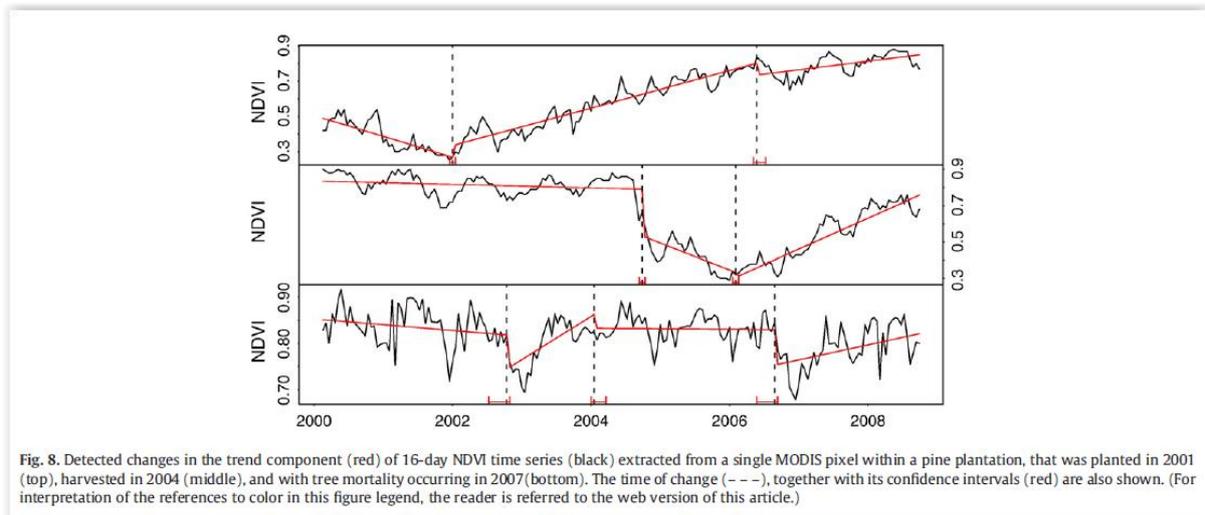


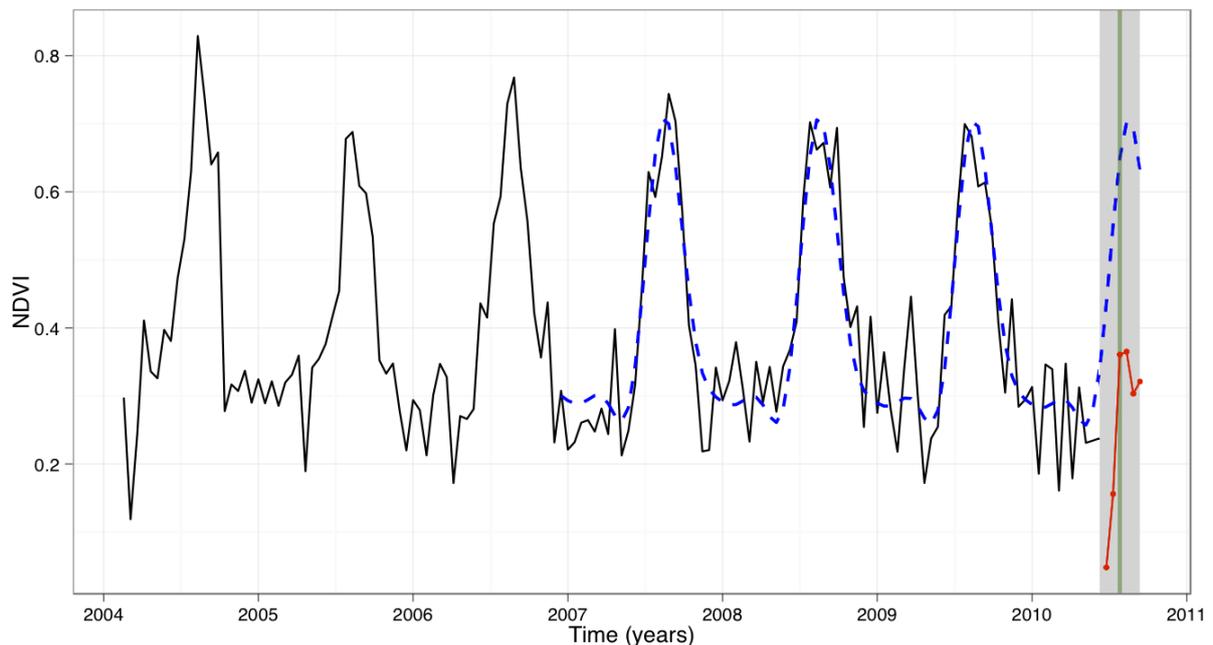
Figure 202 : « Fitted seasonal, trend and remainder (i.e. estimated noise) components for a 16-day MODIS NDVI time series (data series) of a pine plantation”



Source : J. Verbesselt et al. / Remote Sensing of Environment 114 (2010) 106–115

### 12.3.2. Fonction « BFASTmonitor »

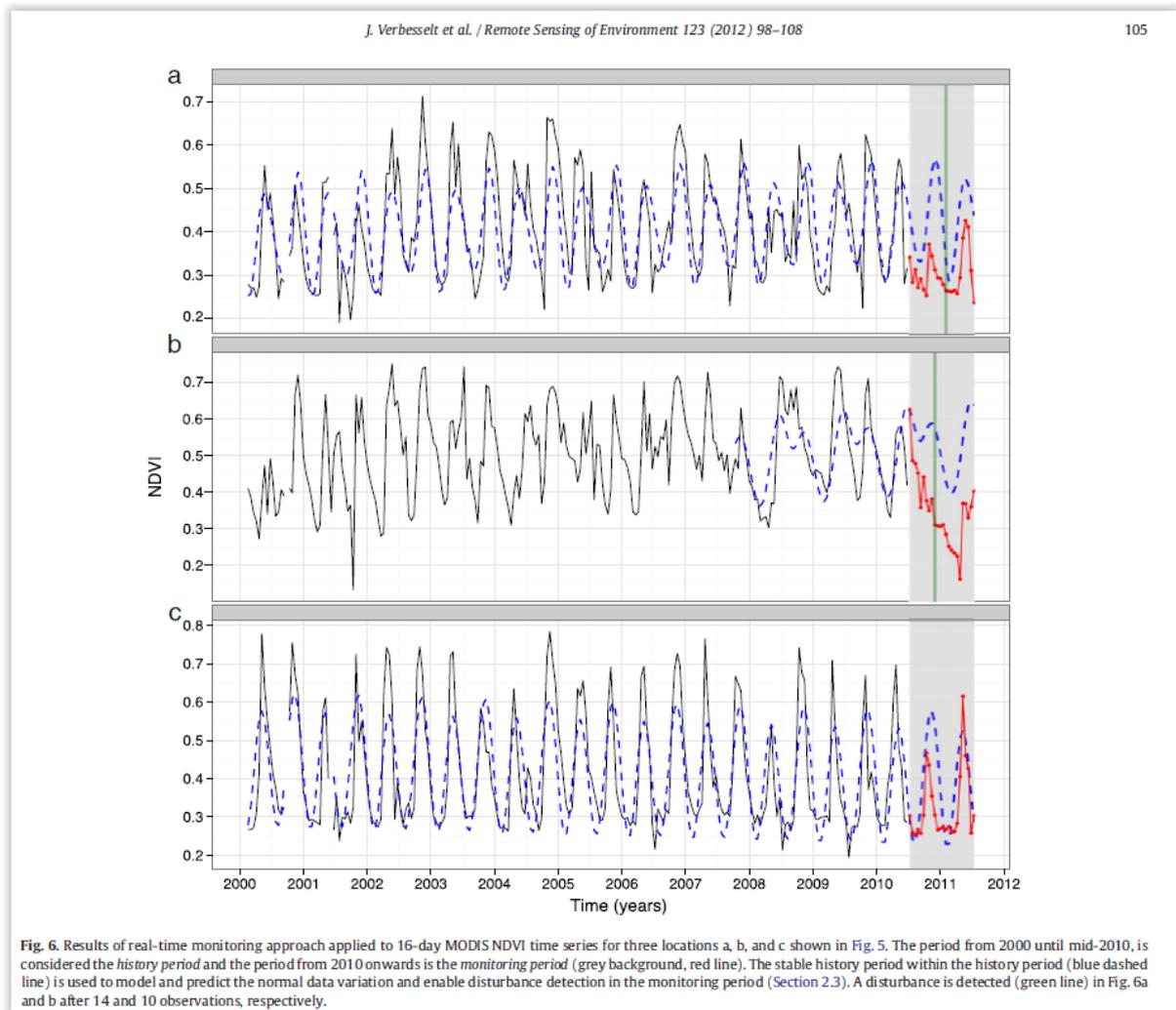
La fonction “**BFASTmonitor** provides functionality for monitoring disturbances in time series models (with trend/season/regressor terms) **at the end of time series (i.e., in near real-time).**”



**Figure ci-dessus:** “Simulated 16-day MODIS NDVI time series. The period from 2004 until mid-2010 (i.e., the time step just before the simulated break), is considered the **history period** and the period after the simulated break is the **monitoring period (grey background)**. The monitoring period contains 6 observations. The result of the monitoring approach is shown: A **stable history period** is identified within the history period (i.e., 2007 until mid-

2010) and used to **model and predict the normal data variation (blue dashed line)** to enable disturbance detection. Here, a **disturbance is detected after 3 observations in the monitoring period (green vertical line)**. Applications: Deforestation, forest health monitoring and phenological change detection within time series of spatio-temporal data sets (satellite images)."

D'autres exemples sont donnés dans la figure ci-dessous.



Source : J. Verbesselt et al. / Remote Sensing of Environment 123 (2012) 98–108.

## 12.4. Tutoriel source

L'exercice qui est présenté dans cette section « BFAST » de ce manuel de travaux pratique se base en très grande majorité sur le tutoriel de Jan Verbesselt disponible ici :

- MODIS based time series analysis using BFAST
  - <https://verbe039.github.io/BFASTforAEO/>

Ce tutoriel ne doit pas être parcouru vu que toutes les informations nécessaires à la réalisation de l'exercice sont reprises dans ce manuel et dans le code R mis à disposition. Il pourra cependant peut être s'avérer une ressource utile en cas de problème.

## 12.5. Installation des 2 logiciels R et RSTUDIO

**BFAST** est un package du logiciel **R**. Il s'utilise donc dans l'environnement de **R** et il vous faut donc installer **R** sur votre ordinateur.

**RSTUDIO** est un logiciel qui sert d'interface pour travailler avec **R**. Il faut également installer **RSTUDIO** sur votre ordinateur.

### 12.5.1. Téléchargement et installation de R

- Page principale du logiciel **R** :
  - <https://www.r-project.org/>
- Page et procédure de téléchargement :
  - <https://www.freeststatistics.org/cran/>
  - > "Download R for Windows" si vous êtes sur Windows
  - > Choisir "base"
  - > Choisir "Download R 3.6.3 for Windows" (téléchargez la dernière version disponible qui est peut être ultérieure à cette version)
  - > Télécharger puis installer

### 12.5.2. Téléchargement et installation de R STUDIO

- Page principale du logiciel **RSTUDIO** :
  - <https://rstudio.com/>
- Page et procédure de téléchargement :
  - <https://rstudio.com/>
  - > Cliquer sur « Download RSTUDIO »
  - > Choisir la version gratuite "RStudio Desktop free"
  - > Choisir "l'installers" pour votre système d'exploitation, par exemple pour Windows: "RStudio 1.2.5033 - Windows 10/8/7 (64-bit)" (téléchargez la dernière version disponible qui est peut être ultérieure à cette version)
  - > Télécharger puis installer

## 12.6. Présentation des images MODIS « MOD13Q1 »

Le produit NDVI de MODIS est repris dans le produit MODIS appelé « MOD13Q1 ». Ce produit sera utilisé dans ce tutoriel comme source de donnée du NDVI pour construire la série temporelle. Cette section présente brièvement les images MODIS et ce produit en particulier.

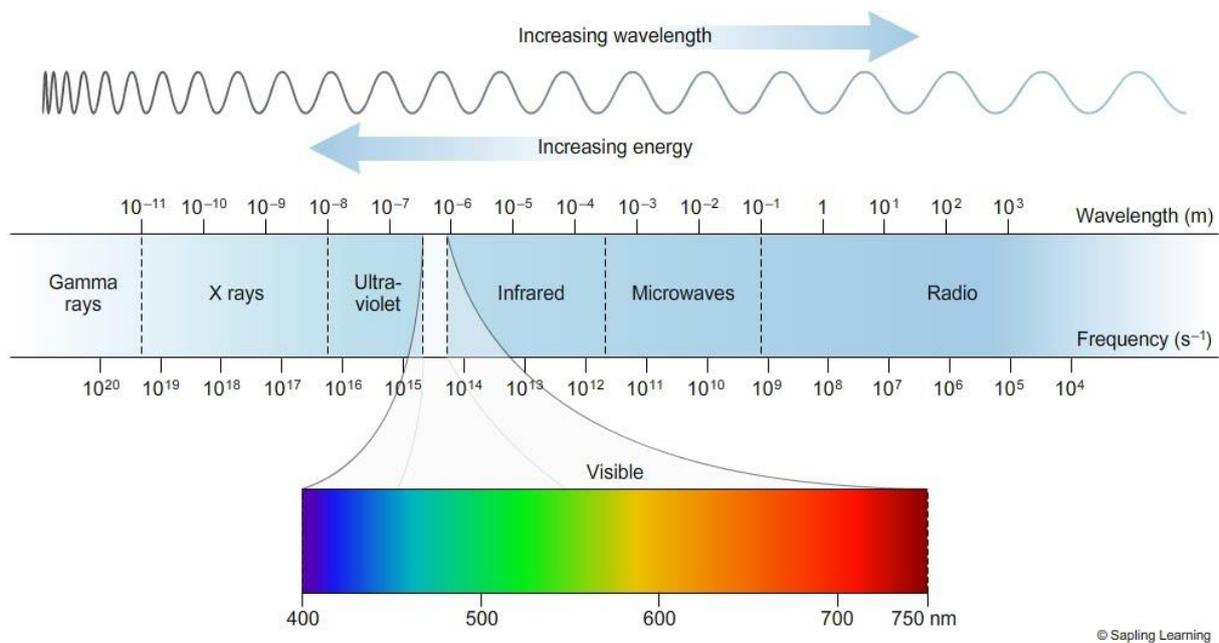
Page web principale de MODIS:

- <https://modis.gsfc.nasa.gov/>

Informations sur MODIS :

- <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>
  - **MODIS** (or Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) is a key instrument aboard the **Terra and Aqua** satellites.
  - Terra MODIS and Aqua MODIS are viewing the **entire Earth's surface every 1 to 2 days**, acquiring data in **36 spectral bands, or groups of wavelengths**
- Technical specifications: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>
  - **Spatial Resolution:** 250 m (bands 1-2, red & NIR), 500 m (bands 3-7), 1000 m (bands 8-36)
- List of MODIS products:
  - <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/>
- MODIS Vegetation Index Products (NDVI and EVI): MOD13!
  - <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php>
- **MOD13Q1 v006**
  - <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/>
  - MODIS/Terra Vegetation Indices **16-Day** L3 Global **250 m**
  - **NDVI + EVI** (EVI: improved sensitivity over high biomass regions)
  - 2 vegetation layers + 1 quality layer and 1 quality reliability layer for the indices NDVI and EVI + 4 reflectance bands (1 (red), 2 (near-infrared), 3 (blue), and 7 (mid-infrared)), as well as 4 other layers → 12 bands

→ Le NDVI de MOD13Q1 sera utilisé dans ce tutoriel.



© Sapling Learning

Source de l'illustration : <https://sites.google.com/site/chempendix/em-spectrum>

## 12.7. Présentation du MODIS « Fixed Sites Subsets Tool »

Le MODIS « Fixed Sites Subsets Tool » est une plateforme web qui donne un accès facile à certaines données MODIS pour des sites prédéfinis. Cet exercice utilisera des données MODIS provenant de ces sites prédéfinis.

Site web :

- <https://modis.ornl.gov/sites/>

“The Fixed Sites Subsets Tool provides:

- **customized subsets and visualizations** of several **MODIS/VIIRS** land products and Daymet daily surface weather data **for selected fields**
- for predefined areas of about **8 X 8-km** centered on the selected sites.”

The screenshot shows the 'Fixed Sites Subsets Tool' interface. At the top, there's a header with 'EARTHDATA' and 'Other DAACs'. Below that, the 'MODIS/VIIRS Subsets' logo is prominent, along with 'ORNL DAAC' and 'Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer / Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Land Products Subsets'. A navigation bar contains 'Get Data', 'Documentation', 'Resources', 'Publications', 'Citation', and 'Sign in'. The main heading is 'Fixed Sites Subsets Tool'. Below this is a search bar labeled 'Search Sites...' and a 'List' button. The central part of the page is a world map with numerous green circular markers representing sites. At the bottom of the map area, three large numbers are displayed: '49 NETWORKS', '126 COUNTRIES', and '2850 SITES'.

Sélectionnez un site d'intérêt sur la carte :

- Dans le tutoriel web de Jan VERBESSELT, c'est le site '**Gelderland Loobos**' aux Pays-Bas qui est utilisé.

- Dans ce manuel, c'est le site « **ke\_laikipia\_mpala** » dans le **centre du Kenya** qui sera utilisé. Trouvez et sélectionnez ce site via l'interface spatiale ou le menu de recherche.
- Mais libre à vous d'utiliser **un autre site**. Choisissez cependant un site encore **actif** (certains ne le sont plus). Idéalement trouvez un site présentant **une évolution temporelle du NDVI non régulière** (présence d'une variation saisonnière, d'une ou plusieurs tendances et cassures) afin que l'analyse de cette série avec BFAST (section suivante) produise des résultats « intéressants ». **ATTENTION**, il vous faudra alors adapter le nom du site lors de l'utilisation de R (confer section suivante).

Sélectionnez ensuite, dans le tableau sous la carte, le produit **MOD13Q1** « MODIS/Terra Vegetation Indices (NDVI/EVI) » (décrit plus haut).

Identifiez, pour le site sélectionné:

- Dans l'onglet « **Download Data** »
  - Le nom de la bande d'intérêt, (ici : « 250m\_16\_days\_NDVI »)
  - L'évolution des valeurs de NDVI à travers le temps via le graphique disponible sous le tableau
  - Le type d'occupation du sol présent via la webmap disponible en bas de page, onglet « Land Cover »
  - La phénologie via le graphique disponible en bas de page, onglet « Phenology »
- Dans l'onglet « **Subset Summary** » :
  - Le « Site ID » (ke\_laikipia\_mpala)
  - Le « Subset Date Range » (période couverte) (2000-02-18 (2000049) to 2020-03-05 (2020065) au moment d'écrire ces lignes)

Remarquez également :

- “Under 'Download data' tab and table you can see the **Pixel Numbering Scheme** where the blue pixel (i.e. 545) is the "site pixel" (i.e. the middle of the spatial subset).”

**ATTENTION !** Dans le cadre de cet exercice, la série temporelle d'images NDVI MODIS ne sera pas téléchargée manuellement à partir de ce site web « Fixed Sites Subsets Tool » de MODIS MAIS plutôt via l'utilisation du code R mis à disposition (confer section suivante) qui, lui, téléchargera automatiquement les données à partir de ce site web. Certaines des informations identifiées ci-dessus (« Site ID », etc) sont reprises dans le code R.

## 12.8. Utilisation de BFAST dans R et RSTUDIO

Dans cette section, vous allez utiliser l'outil BFAST pour réaliser une analyse de série temporelle d'images NDVI MODIS dans R et RSTUDIO pour un site MODIS prédéfinis (confer ci-dessus).

Utilisez le fichier « **8\_SERIE\_TEMPORELLE\_BFAST\R\_CODE\_BFAST.R** » qui est :

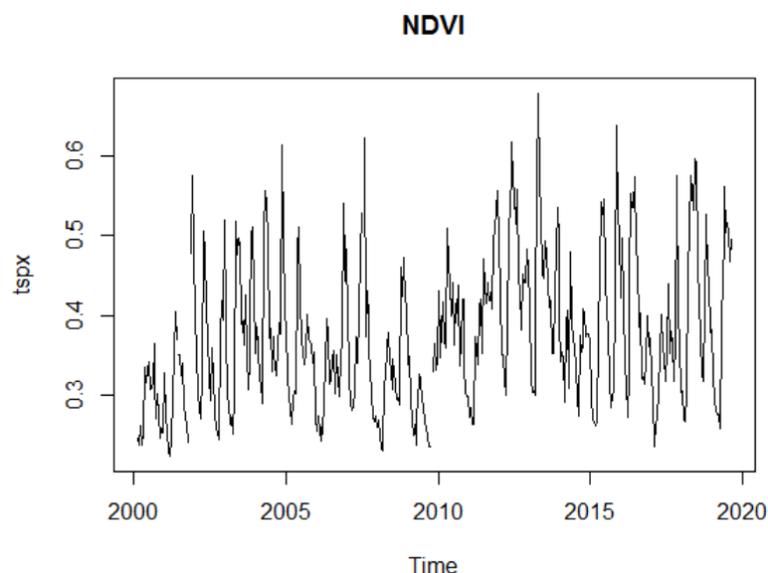
- un copié collé du tutoriel mentionné ci-dessus (<https://verbe039.github.io/BFASTforAEO/>)
- dans lequel **quelques améliorations ont été apportées**

Double-cliquez sur ce fichier qui s'ouvrira en principe dans RSTUDIO.

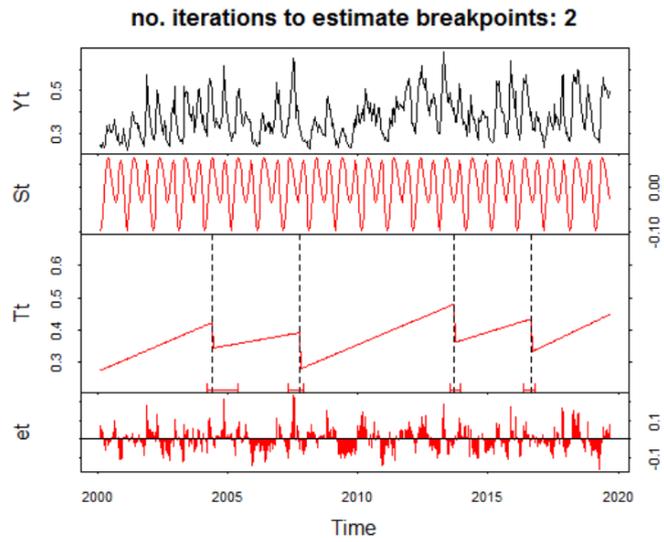
**Suivez les indications reprises sous forme de commentaires (#) dans ce fichier. Tentez de comprendre comment fonctionne ce code R en l'exécutant morceau par morceau et visualisez les résultats intermédiaires et finaux. Faites éventuellement varier certains paramètres afin de comprendre leur impact sur les résultats de l'analyse.**

**Quelques résultats** sont repris ci-dessous pour le pixel central (N° 545) du site « ke\_laikipia\_mpala » dans le centre du Kenya.

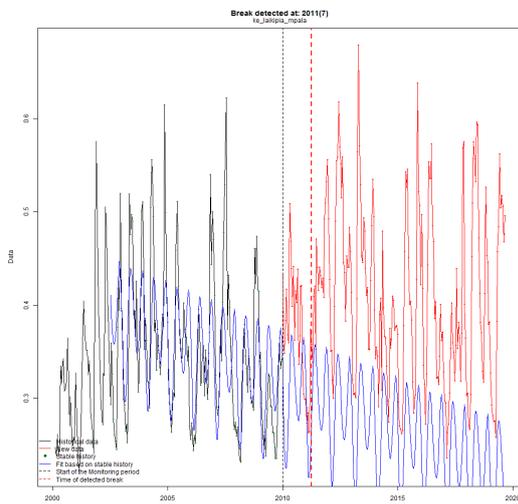
- Série temporelle du NDVI



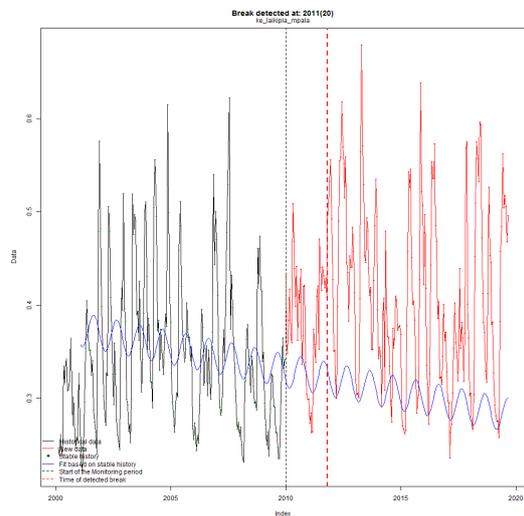
- Résultat de la fonction bfast()



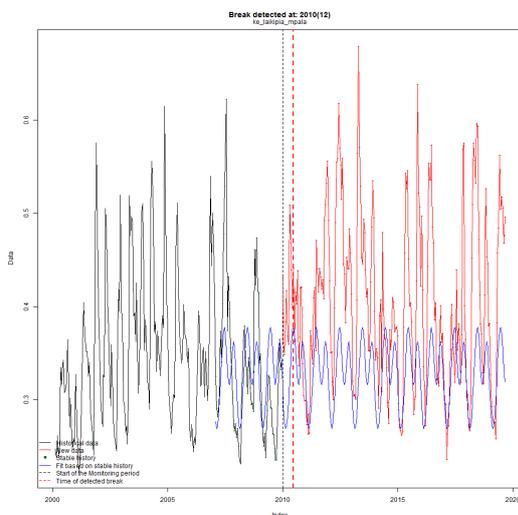
- Résultats de la fonction bfastmonitor() en fonction de différents paramétrages



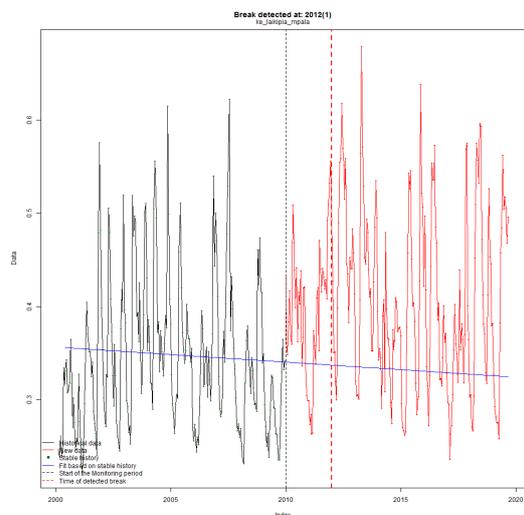
Trend + Harmo + Order 3



Trend + Harmo + Order 1



NO Trend + Harmo + Order 3



Trend + NO Harmo (+ Order 3)

# 13. Autres outils d'analyses de séries temporelles d'images satellites

Section donnée à titre d'information

## 13.1. AppEEARS - Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples

<https://arset.gsfc.nasa.gov/land/webinars/time-series-19>

- Exercise 1: Extracting MODIS Time Series Data Using **AppEEARS**
- <https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appeears/>
- + confer the slides of présentation

Example: <https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appeears/help>

## 13.2. LandTrendr via Google Earth Engine

<https://arset.gsfc.nasa.gov/land/webinars/time-series-19>

- Exercise 2: LandTrendr via **Google Earth Engine**
- + confer the slides of presentation

## 13.3. MODIS NDVI Time Series

- Page principale :
  - <https://arset.gsfc.nasa.gov/land/workshops/WCC2016>
- « MODIS NDVI Anomalies and Time Series »
  - NDVI, Anomaly, visualization, graphique, outils web
  - <https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/land/workshops/WCC2016/S4.7%20MODIS%20NDVI%20Time%20Series%20Exercise.pdf>

## 13.4. Time series analysis in remote sensing by LUND UNIVERSITY

Confer : <https://www.nateko.lu.se/research/remote-sensing-and-earth-observation/lund-earth-observation-research-group/time-series-analysis-in-remote-sensing>

- **TIMESAT software**
  - <http://web.nateko.lu.se/timesat/timesat.asp>
- **PolyTrend**
  - Web-app : <http://polytrend.gis.lu.se/> web application for time series analysis
  - R-package: <https://cran.r-project.org/web/packages/PolyTrend/index.html>
- **DBEST R package**
  - <https://cran.r-project.org/web/packages/DBEST/index.html>

## 13.5. QGIS EO Time Series Viewer

- <https://eo-time-series-viewer.readthedocs.io/en/latest/index.html>
- Petit tuto exemple
- explorer une image dans QGIS
  - + time grid signification
  - + eotimeseries de qgis
  - + missing data code



# 14. Introduction à GOOGLE EARTH ENGINE (GEE)

<b>Objectifs pédagogiques</b>	<p>Découvrir Google Earth Engine à travers :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• une brève <b>introduction générale</b> pour fixer le cadre</li><li>• quelques <b>exercices simples</b> pour vous initier à la manipulation de données d'observation de la terre dans cet environnement</li></ul> <p>A la fin de cette section vous devriez être familiarisé avec GEE et suffisamment à l'aise que pour continuer à apprendre par vous-même à l'aide des ressources existantes sur le web.</p>
<b>Données</b>	<p><b>Aucune donnée</b> n'est nécessaire pour cet exercice.</p> <p>Quelques <b>tutoriaux</b> sont disponibles dans le dossier «...\9_GOOGLE_EARTH_ENGINE\...» (~ 4 MB).</p> <p>Téléchargez éventuellement ces documents (non directement utilisés dans le cadre de cet exercice) sur votre ordinateur en local dans votre répertoire de travail.</p>
<b>Logiciel ou application</b>	<p>Google Earth Engine (GEE) (<a href="https://earthengine.google.com/">https://earthengine.google.com/</a>)</p>
<b>Temps approximatif</b>	<p>~ 3-4 heures</p>
<b>Prérequis</b>	<p>Aucun. Cependant, l'étudiant ayant déjà quelques notions de programmation aura plus de facilité qu'un non initié.</p>

# Google Earth Engine, Javascript, programmation, cloud processing

## 14.1. Préalable !!

**ATTENTION! Un délai de quelques jours peut être nécessaire pour obtenir un accès à GEE. Faites donc la demande d'accès plusieurs jours (1 semaine) avant la séance de TP** (une demande faite le 21/11/2019 a pris une dizaine d'heures pour être acceptée).

« *How do I get access?*

*To get access to Earth Engine, please fill out the form at [signup.earthengine.google.com](https://signup.earthengine.google.com). You will receive an email titled "Welcome to Google Earth Engine" with instructions for getting started. » (FAQ GEE).*

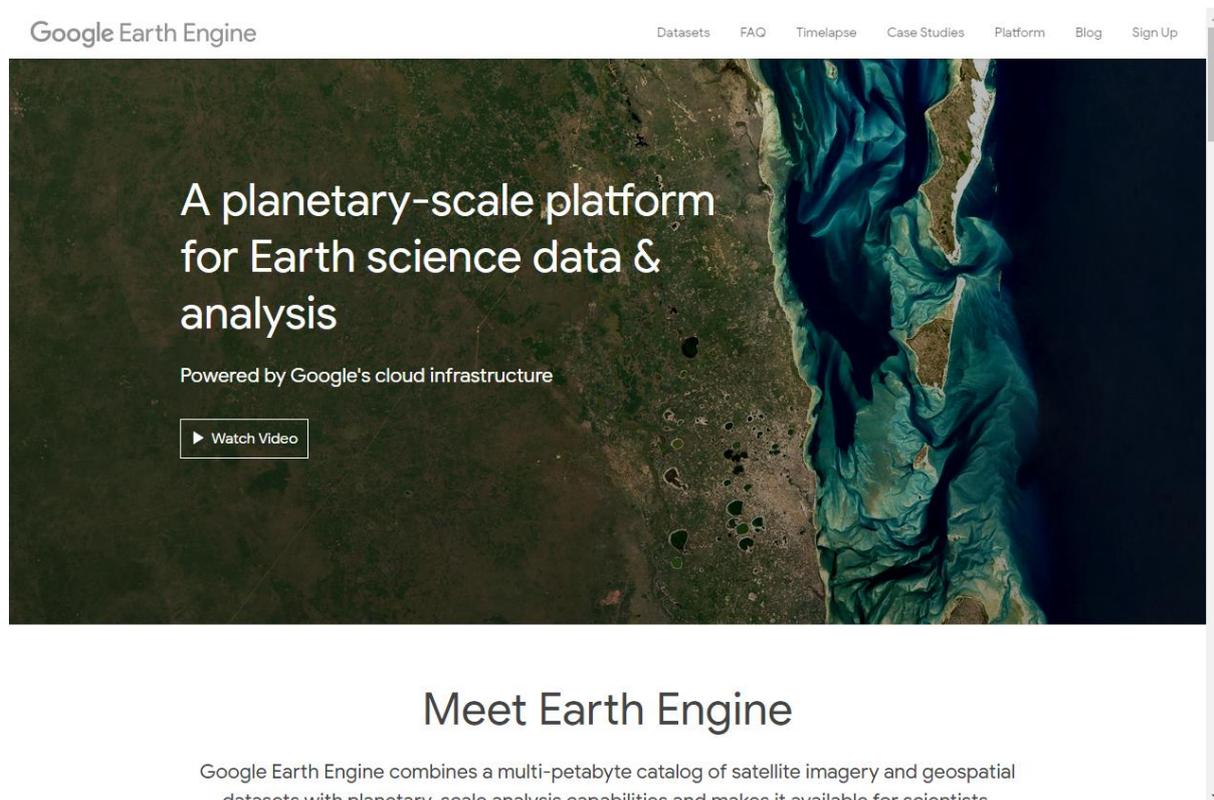
- (Avoir OU se créer un compte Google via
  - <https://account.google.com> )

Pas besoin d'installer de logiciel : les traitements se font dans le cloud GEE.

## 14.2. Présentation de Google Earth Engine (GEE) (30 min)

### 14.2.1. Page web principale

- <https://earthengine.google.com/>



### 14.2.2. Vidéo d'introduction (2 minutes)

- Geospatial data processing and analysis platform
- Powered by Google's data center infrastructure
- Collections Landsat, Sentinel-1 et -2, MODIS, MNT, autres données directement disponibles
  - Détails des données disponibles : <https://developers.google.com/earth-engine/datasets>
- Environnement de développement JAVASCRIPT API et PYTHON API
- → permet de travailler facilement sur de très grandes quantités de données à l'échelle planétaire
- Dans quels cas utiliser/ne pas utiliser GEE? Confer Figure 203.

The slide features the USDA logo in the top left corner with the text 'United States Department of Agriculture'. The main title is 'When to use Earth Engine' in a large, green, sans-serif font. Below the title, the slide is divided into two columns. The left column is headed 'EE Benefits:' and lists four bullet points: 'Good for projects that requires:', 'Data coverage for a large region', 'Extensive data library', and 'High speed, intensive processing capacity'. The right column is headed 'EE Limitations:' and lists two bullet points: 'Better suited to image analyses than vector-based analyses' and 'Analysis based on pixel spatial relations are harder to complete (because of the processing on multiple CPUS). Image segmentation and hydrologic modeling options are limited or in testing phases.'

Figure 203 : When to use Earth Engine? (Source de la dia: [https://servirglobal.net/Portals/0/Documents/Articles/ChangeDetectionTraining/Module2\\_Intro\\_Google\\_Earth\\_Engine\\_presentation.pdf](https://servirglobal.net/Portals/0/Documents/Articles/ChangeDetectionTraining/Module2_Intro_Google_Earth_Engine_presentation.pdf))

### 14.2.3. Timelapse

GEE Timelapse est une « vidéo mondiale zoomable » qui permet de visualiser l'évolution de l'occupation du sol de la planète pendant ces 35 dernières années (1984 - 2018)

- <https://earthengine.google.com/timelapse/>

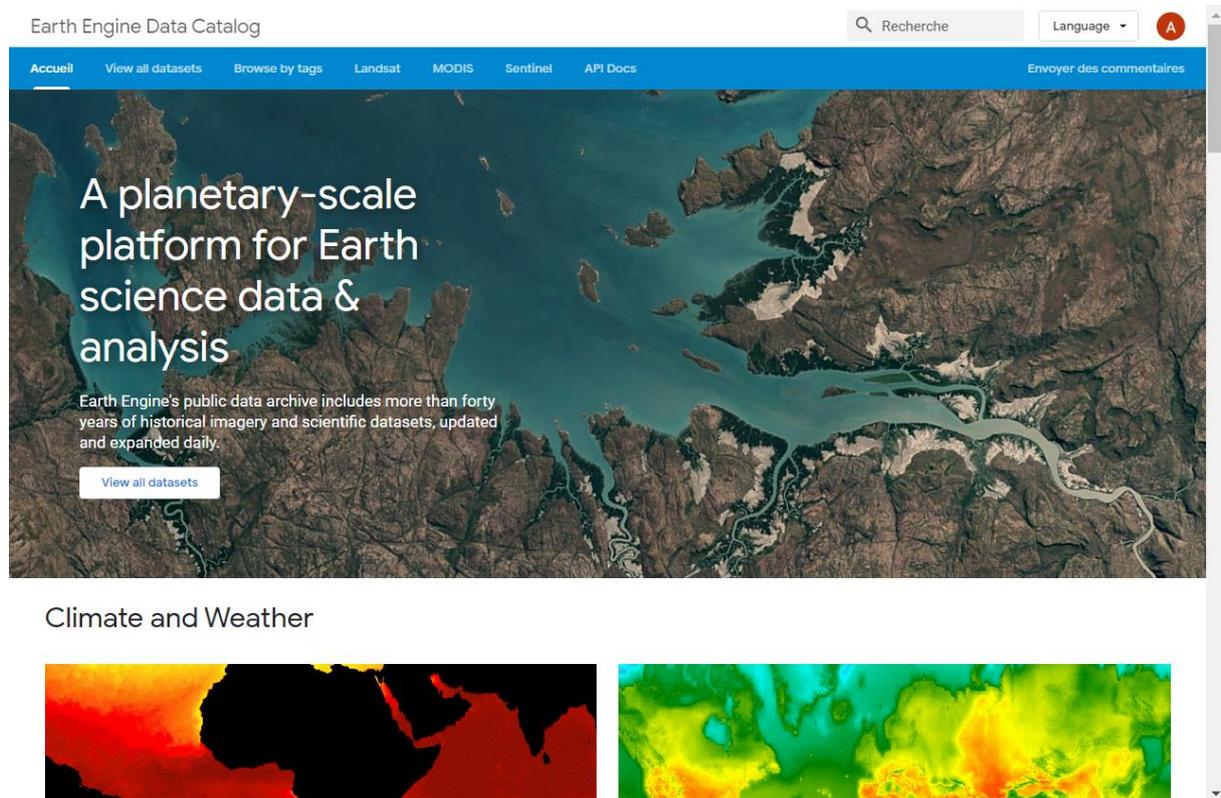
#### 14.2.4. Exemples de cas d'étude avec GEE

- [https://earthengine.google.com/case\\_studies/](https://earthengine.google.com/case_studies/), notamment
  - Global Forest Cover Change
  - Global Forest Watch
  - Global Surface Water
  - ...

#### 14.2.5. Les datasets

Toutes les informations sur les datasets (description, accès) de GEE sont disponibles ici :

- <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/>



Earth Engine Data Catalog

Recherche

Language

Accueil View all datasets Browse by tags Landsat MODIS Sentinel API Docs Envoyer des commentaires

A planetary-scale platform for Earth science data & analysis

Earth Engine's public data archive includes more than forty years of historical imagery and scientific datasets, updated and expanded daily.

View all datasets

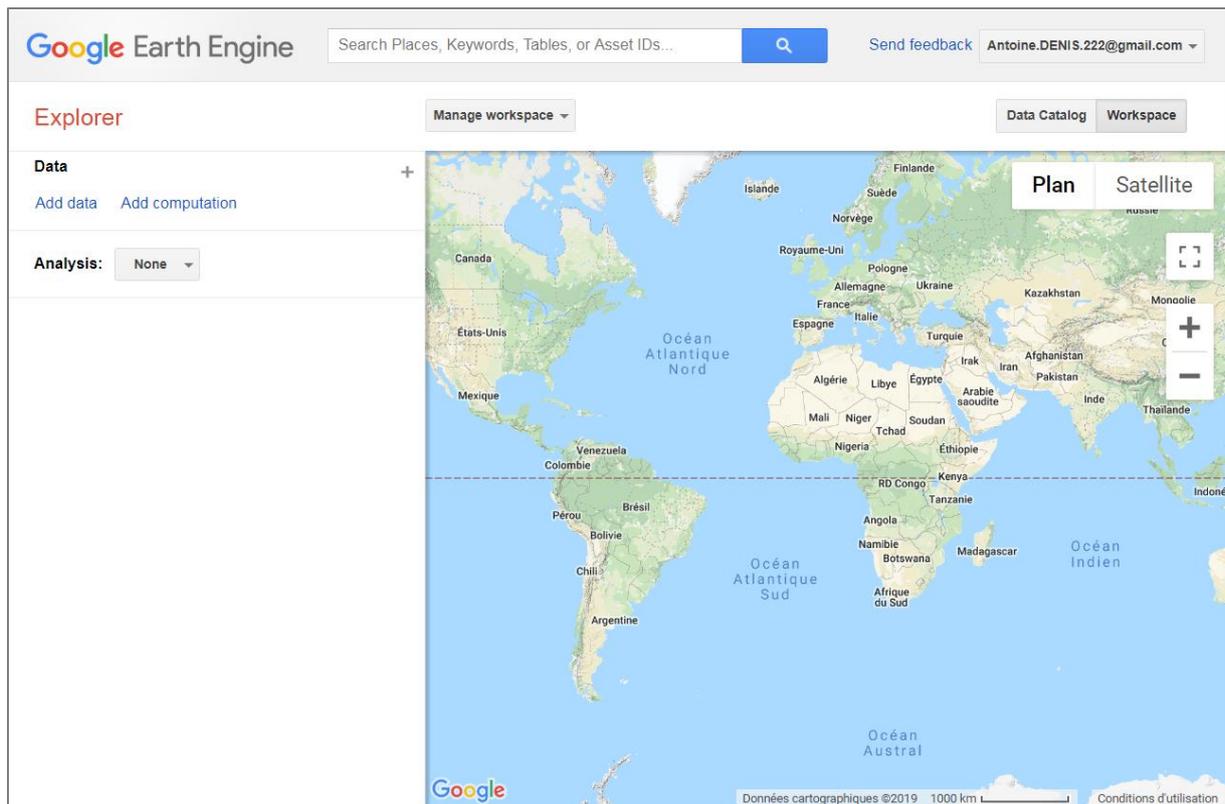
Climate and Weather

## 14.2.6. 2 Interfaces: EXPLORER et CODE EDITOR

GEE propose 2 interfaces, présentées ici <https://earthengine.google.com/platform/>

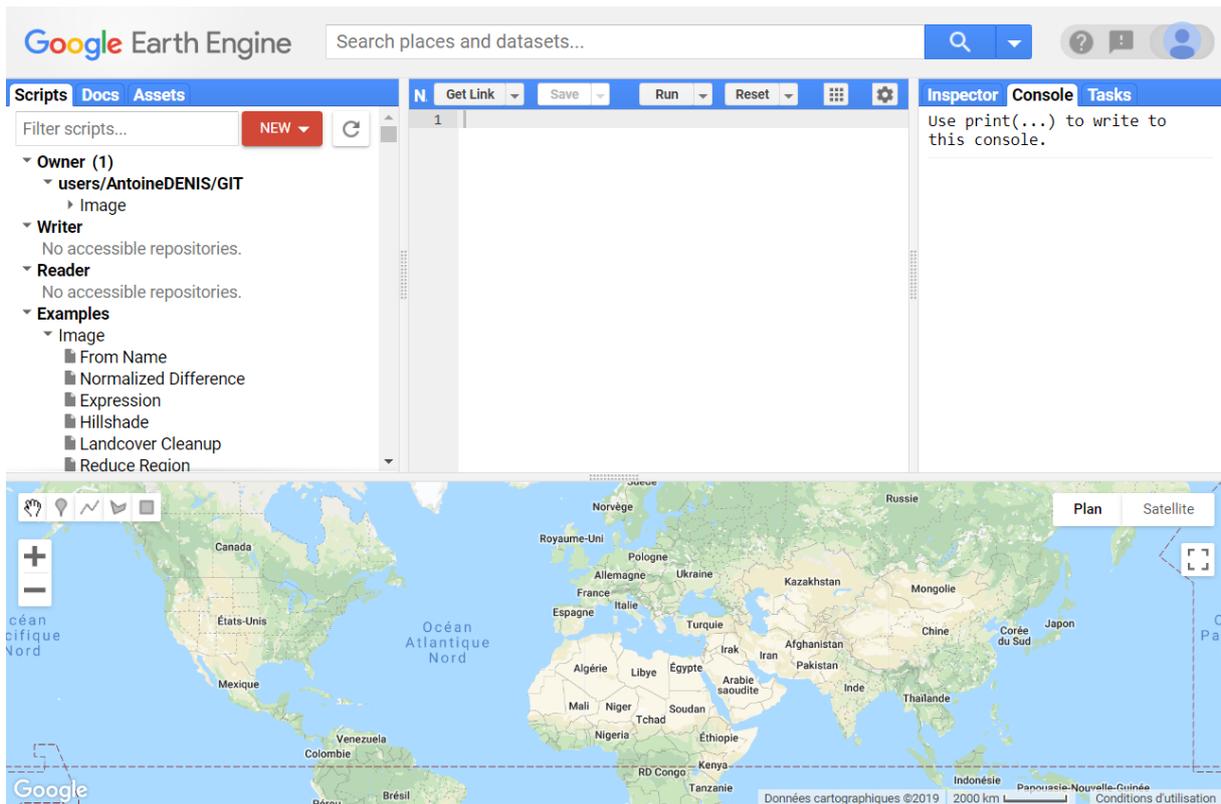
### 14.2.6.1. EXPLORER

- <https://explorer.earthengine.google.com/#workspace>
- “The Explorer is a lightweight web app for exploring our data catalog and running simple analyses.”



### 14.2.6.2. CODE EDITOR:

- <https://code.earthengine.google.com/>
- “The Code Editor is a web-based IDE (Integrated Development Environment) for writing and running scripts.”
- Documentation sur le code editor:
  - <https://developers.google.com/earth-engine/playground>



Découvrez les différentes parties de l'interface du CODE EDITOR grâce au **“Feature tour”**.

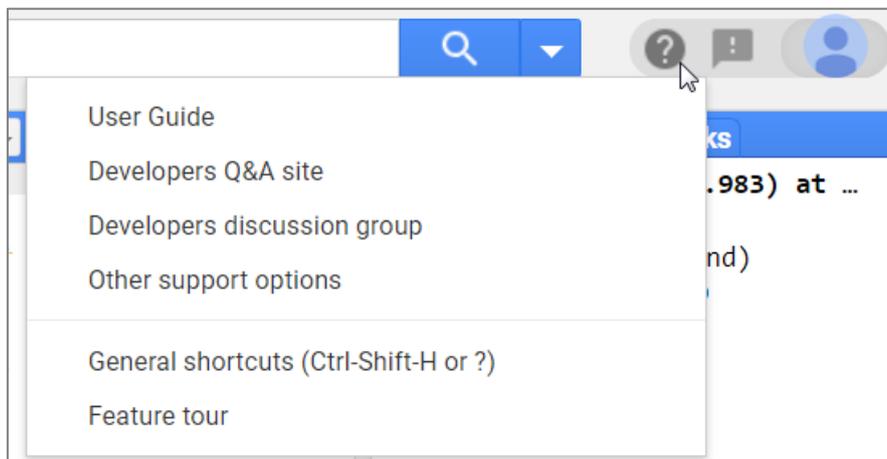
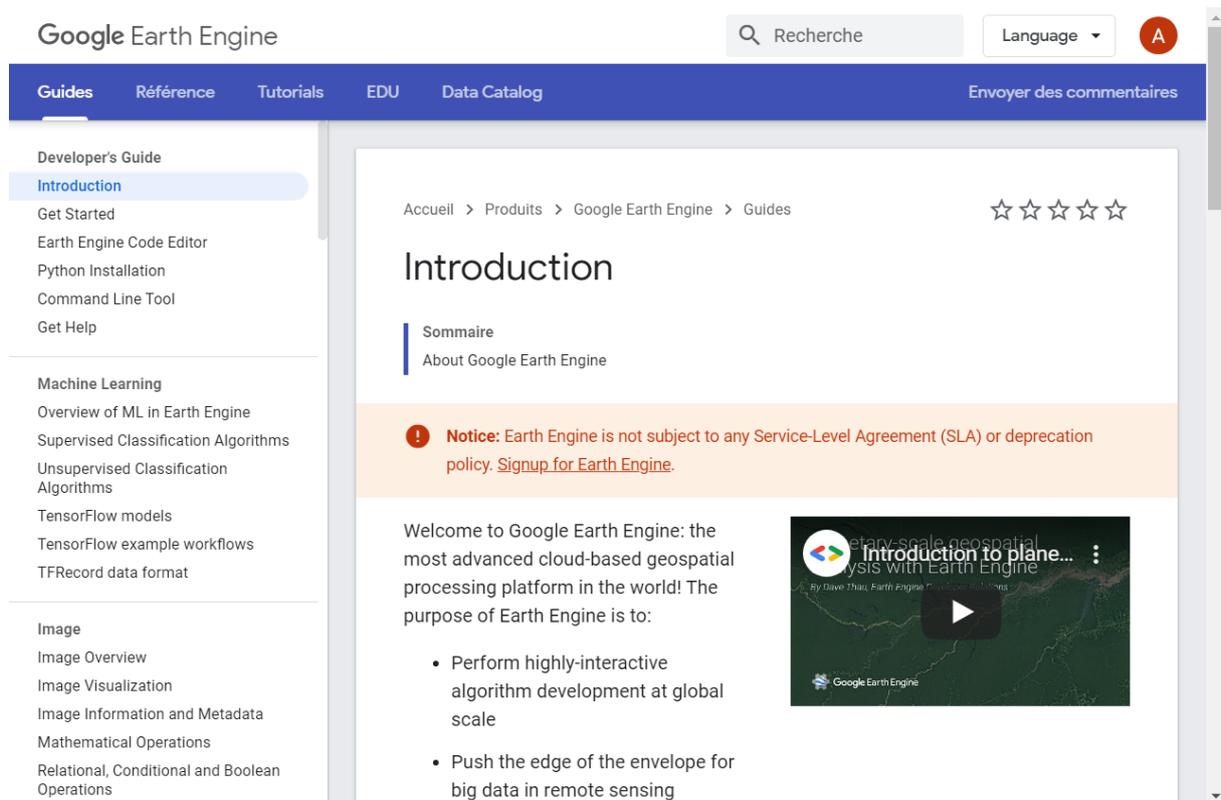


Figure 204 : Accès au « Feature tour » du « CODE EDITOR » de GEE

## 14.2.7. Documentations

La documentation sur GEE est disponible via :

- <https://developers.google.com/earth-engine/>
  - GUIDE: intro, info générale, tutoriels, etc
  - REFERENCE : définition précise des algorithmes disponibles
  - TUTORIALS : tutoriels
  - EDU : autres tutoriels
  - DATA CATALOG : catalogue de données



The screenshot shows the Google Earth Engine documentation page for the 'Introduction' guide. The page features a blue header with the Google Earth Engine logo, a search bar, and a language dropdown. Below the header is a navigation menu with links for Guides, Référence, Tutorials, EDU, and Data Catalog. The main content area is titled 'Introduction' and includes a breadcrumb trail: Accueil > Produits > Google Earth Engine > Guides. A star rating of five stars is visible. A 'Sommaire' (Table of Contents) section lists 'About Google Earth Engine'. A prominent orange notice box states: 'Notice: Earth Engine is not subject to any Service-Level Agreement (SLA) or deprecation policy. Signup for Earth Engine.' Below the notice, the text reads: 'Welcome to Google Earth Engine: the most advanced cloud-based geospatial processing platform in the world! The purpose of Earth Engine is to:' followed by two bullet points: 'Perform highly-interactive algorithm development at global scale' and 'Push the edge of the envelope for big data in remote sensing'. A video player is embedded on the right side of the page, showing a video titled 'Introduction to planetary-scale geospatial analysis with Earth Engine' by Dave Thau.

## 14.3. Exercices

### 14.3.1. GEE EXPLORER

#### 14.3.1.1. Découverte de l'EXPLORER et classification supervisée (20 minutes)

Tutoriel de référence : Training Classifiers, Supervised Classification and Error Assessment

- [https://drive.google.com/file/d/1NRREEjp\\_KFaJcmQtqYcof2rGvHcUBBZz/view](https://drive.google.com/file/d/1NRREEjp_KFaJcmQtqYcof2rGvHcUBBZz/view)
- aussi disponible en PDF dans le dossier de formation « GEE\_0 GEE Explorer and Supervised Classification.pdf »

Suivez ce tutoriel

Démarrez l'EXPLORER et soyez connecté à GEE:

- <https://explorer.earthengine.google.com/#workspace>

**Adaptation du tutoriel :**

- Zoomez sur un pays/région qui vous intéresse, par exemple la région de Kasese en Ouganda (confer exercice de classification SCP dans QGIS)
- Choisissez dans le « data catalog » les 2 jeux de données suivants :
  - « Landsat 7 Collection 1 Tier 1 32-Day TOA Reflectance Composite »
  - « Landsat 8 Collection 1 Tier 1 32-Day TOA Reflectance Composite »
- Et constatez :
  - La présence importante de nuage → d'où l'utilité de travailler avec des **composites désennuagés** (comme ce sera le cas plus loin dans l'exercice).
  - Le problème des stries de Landsat 7 ([https://www.usgs.gov/faqs/what-landsat-7-etm-slc-data?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-landsat-7-etm-slc-data?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products))
- Comparez la disponibilité des images pour :
  - La période de 32 jours en cours de réalisation (une partie du territoire seulement est couvert : **variable en fonction de la date actuelle par rapport à la période de 32 jours**)
  - Une période de 32 jours précédente (100% du territoire est couvert)
- Informations détaillées sur les bandes de Landsat-7 (utiles pour la réalisation des compositions fausses et vraies couleurs) :
  - [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT\\_LE07\\_C01\\_T1\\_TOA](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LE07_C01_T1_TOA)
- **Attention ! Le téléchargement du produit finit ne semble pas fonctionner ! L'interface reste à l'étape de « Preparing download... » indéfiniment...**

### Pour en savoir plus sur ce qu'est le « Landsat TOA Percentile Composite » :

- « TOA reflectance » : Top-Of-Atmosphere reflectance (pas de correction atmosphérique) ([https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT\\_LC08\\_C01\\_T1\\_TOA](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C01_T1_TOA))
- « Surface reflectance » : avec correction atmosphérique, [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT\\_LC08\\_C01\\_T1\\_SR](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C01_T1_SR).
- Landsat 7 **5-year** TOA percentile composites
  - [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT\\_LE7\\_TOA\\_5YEAR](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LE7_TOA_5YEAR)
- Landsat 7 **annual** TOA percentile composites
  - [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT\\_LE7\\_TOA\\_1YEAR](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LE7_TOA_1YEAR)
- Algorithme utilisé : « ee.Algorithms.Landsat.simpleComposite() »
  - <https://developers.google.com/earth-engine/landsat#simple-composite>

### Définitions :

- TIER 1 (T1), TIER 2 (T2), Real Time (RT) :
  - → <https://developers.google.com/earth-engine/landsat>
- API : Application Programming Interface

### 14.3.1.2. Advanced - Visualizing change over time (5 min)

Objectif : visualiser l'expansion de la ville de Las Vegas entre 1987 et 2011 à partir de composites annuels de Landsat-5.

Tutoriel de référence :

- [https://drive.google.com/file/d/1oD1jbWfjxXFWFXbBs87QoXi1ReO\\_cvLZ/view](https://drive.google.com/file/d/1oD1jbWfjxXFWFXbBs87QoXi1ReO_cvLZ/view)
  - page 19
- Aussi disponible en PDF dans le dossier de formation sous le nom de :
  - « Google Earth Outreach Introductory Tutorial.pdf »

Informations complémentaires au tutoriel :

- Données à utiliser : « Landsat 5 TM Collection 1 Tier 1 Annual TOA Reflectance Composite »
  - [https://explorer.earthengine.google.com/#detail/LANDSAT%2FLT05%2FC01%2FT1\\_ANNUAL\\_TOA](https://explorer.earthengine.google.com/#detail/LANDSAT%2FLT05%2FC01%2FT1_ANNUAL_TOA)
  - ! « All the images from each year are included in the composite, with the most recent pixel as the composite value.» (pas très utile comme composite)

### 14.3.1.3. Raster de classification (2 minutes)

#### Objectif :

- Visualiser le raster de classification « MCD12Q1.051 Land Cover Type Yearly Global 500m»
- <https://explorer.earthengine.google.com/#detail/MODIS%2F051%2FMCD12Q1>

Identifiez la correspondance entre les couleurs de la légende et la description des classes telle que disponible dans le « datacatalog ».

### 14.3.1.4. Advanced - Viewing Classified Rasters (5 min)

#### Objectif :

- Visualiser un « Classified Raster type data layers ».

#### Tutoriel de référence :

- [https://drive.google.com/file/d/1oD1jbWfjxXFWFXbBs87QoXi1ReO\\_cvLZ/view](https://drive.google.com/file/d/1oD1jbWfjxXFWFXbBs87QoXi1ReO_cvLZ/view)
  - page 14
- Aussi disponible en PDF dans le dossier de formation sous le nom de :
  - « Google Earth Outreach Introductory Tutorial.pdf »

## 14.3.2. GEE CODE EDITOR

### 14.3.2.1. Découvrir et visualiser une collection via le code editor (45 minutes)

Les collections de données sont disponibles ici :

- <https://developers.google.com/earth-engine/datasets>

A partir de cette page, choisissez les dataset suivants :

- **Landsat-8 Surface reflectance**
  - [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT\\_LC08\\_C01\\_T1\\_SR](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C01_T1_SR)
  - Lisez la description du dataset
  - Lancer le script dans le code editor via le bouton « Open in Code Editor »
  - Visualisez le résultat : il y a beaucoup de nuages !

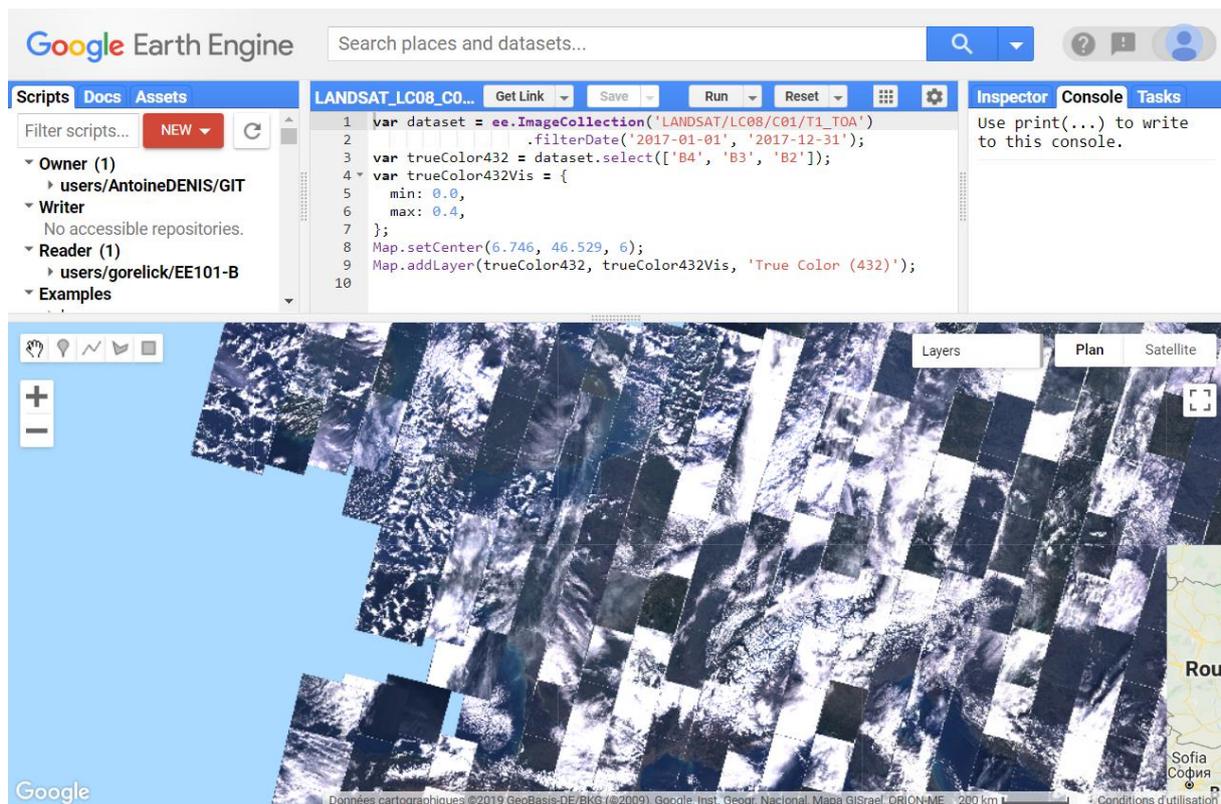


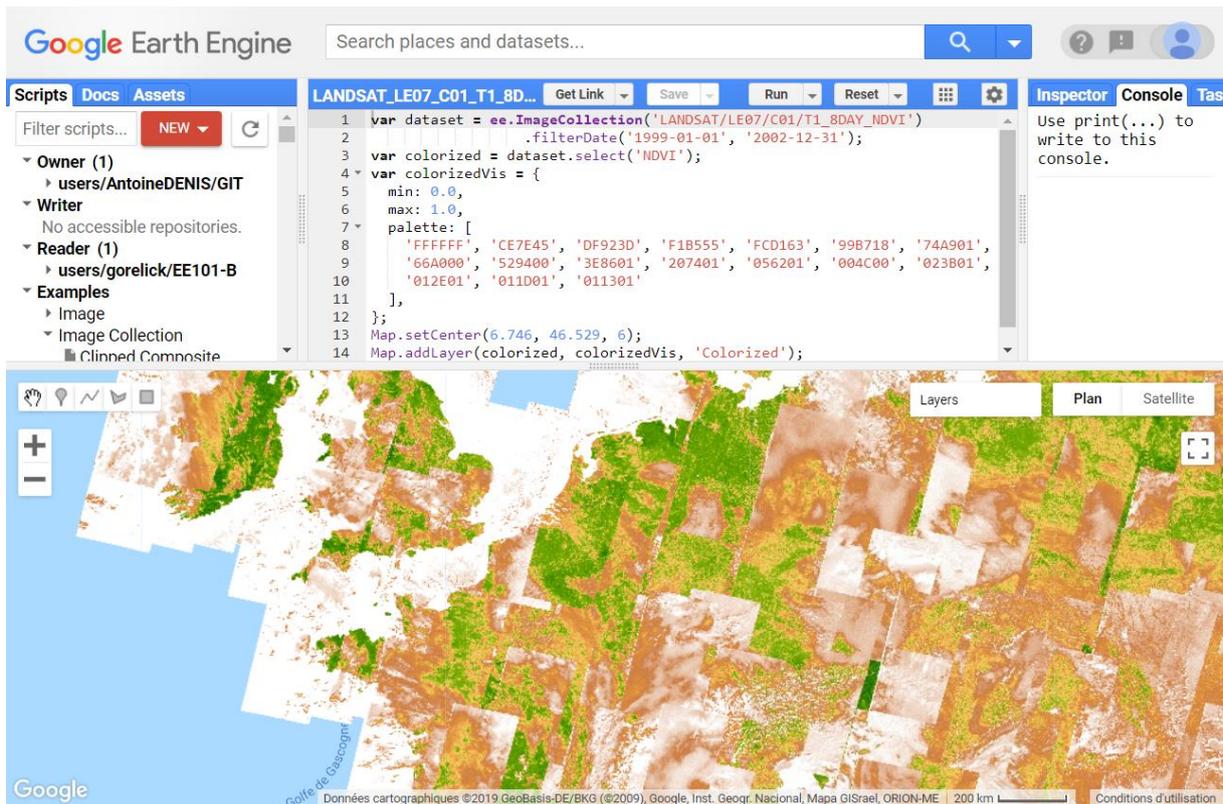
Figure 205 : Aperçu de la collection Landsat-8 Surface reflectance

- Analysez, comprenez et testez le code utilisé : conférer les indications et instructions dans le tableau ci-dessous

Code	Signification et commentaires
var dataset =	Permet de définir une variable « dataset » et de lui attribuer la valeur à droite du signe =
ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')	Permet de construire une collection d'images Pour accéder à la définition de la fonction, cherchez le nom de la fonction dans l'onglet « DOC » du panneau de gauche du code editor (aussi disponible ici <a href="https://developers.google.com/earth-engine/api_docs#ee.imagecollection">https://developers.google.com/earth-engine/api_docs#ee.imagecollection</a> )
.filterDate('2017-01-01', '2017-12-31')	Permet de filtrer la collection pour une période. Cherchez la définition précise de cette fonction dans l'onglet « DOC ».
;	A utiliser pour marquer la fin d'une ligne de commande JavaScript
dataset.select(['B4', 'B3', 'B2'])	« dataset » fait référence à la variable préalablement créée. La fonction « select » s'applique à la variable « dataset ». Pour trouver la documentation sur la fonction « select », tapez « select » dans le menu de recherche de l'onglet

	<p>« DOC » et descendez jusqu'à trouver celle qui se rapporte à « ee.ImageCollection »</p> <div data-bbox="587 286 1168 495" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>▼ <b>ee.ImageCollection</b></p> <p>aside(func, var_args)</p> <p>reduceToImage(properties, reducer)</p> <p style="background-color: #e0e0e0;">select(selectors, names)</p> </div> <p>Cette commande permet de sélectionner les bandes 4-3-2. Documentation sur les bandes disponible ici <a href="https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C01_T1_SR">https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C01_T1_SR</a></p> <p>Tentez de créer une composition fausse couleur. Cette composition sera affichée via la fonction « Map.addLayer » présentée en fin de tableau.</p>
<pre>{   min: 0.0,   max: 1.0, };</pre>	<p>{ } Permet de définir un « <b>dictionary</b> » aussi appelé « <b>object</b> ». Un « dictionary » peut contenir plusieurs paires de « key: value » où « key » est similaire au nom générique d'une paire et « value » aux valeurs que prennent cette « key ». Plus d'information sur les « dictionary » ici <a href="https://developers.google.com/earth-engine/tutorial_js_01">https://developers.google.com/earth-engine/tutorial_js_01</a></p> <p>2 paramètres de visualisation sont définis et une valeur leur est attribuée</p> <p>Les paramètres de visualisation possibles sont brièvement décrits dans l'onglet « DOC » via la fonction « ee.data.getMapId »</p>
<pre>Map.setCenter(6.746, 46.529, 6);</pre>	<p>Confer la définition dans l'onglet « DOC »</p> <p>Faites varier les paramètres et exécutez le code pour visualiser l'impact de ces paramètres.</p>
<pre>Map.addLayer(trueColor43 2, trueColor432Vis, 'True Color (432)');</pre>	<p>Confer la définition dans l'onglet « DOC »</p> <p>Vérifiez l'utilité du paramètre « <b>name</b> » (dans menu « Layers » du viewer)</p> <p>Ajoutez et faites varier les valeurs de paramètres « <b>shown</b> » (0 ou 1) et « <b>opacity</b> » (0.5 par exemple) et exécutez le code pour visualiser l'impact de ces paramètres.</p> <p>Ajoutez une commande « Map.addLayer » afin d'afficher la composition fausses couleurs créée précédemment. Comparez ensuite les compositions vraies et fausses couleurs.</p>

- **Landsat 7 Collection 1 Tier 1 8-Day NDVI Composite**
  - [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT\\_LE07\\_C01\\_T1\\_8DAY\\_NDVI](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LE07_C01_T1_8DAY_NDVI)
  - + lancer le script dans le code editor via « Open in Code Editor »



Code	Signification et commentaires
<pre>dataset.select('NDVI')</pre>	<p>Cette commande semble inutile car dans ce cas-ci la collection ne contient qu'une seule bande, celle du NDVI.</p> <p>Pour le vérifier, modifiez cette ligne de commande comme ceci :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <code>var colorized = dataset;//.select('NDVI');</code></li> </ul> <p>et exécutez le script. Y a-t-il une différence?</p> <p>Le signe « // » permet de mettre en commentaire ce qui se trouve à sa droite, commentaire qui ne sera pas pris en considération au moment de l'exécution du code.</p> <p>Multi-line comments can start with /* and end with */</p> <p><b>Remarque : il ne semble pas possible d'exécuter une partie de code seulement (une ligne par exemple). Pour ne pas exécuter certaines lignes d'un code, il faut les mettre sous forme de commentaires.</b></p>
<pre>palette: [   'FFFFFF', 'CE7E45', 'DF923D', 'F1B555',   'FCD163', '99B718', '74A901',   '66A000', '529400', '3E8601', '207401',   '056201', '004C00', '023B01',   '012E01', '011D01', '011301' ]</pre>	<p>Pour la palette de couleur, les « <b>Hex color codes</b> » sont utilisés. Ces codes sont documentés ici par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="https://htmlcolorcodes.com/">https://htmlcolorcodes.com/</a></li> </ul>

### 14.3.2.2. Tutoriel officiel « The Earth Engine API »

Suivez le tutoriel officiel « The Earth Engine API » à partir de la section « Visualizing Images and Image Bands » disponible ici :

- [https://developers.google.com/earth-engine/tutorial\\_api\\_02](https://developers.google.com/earth-engine/tutorial_api_02)

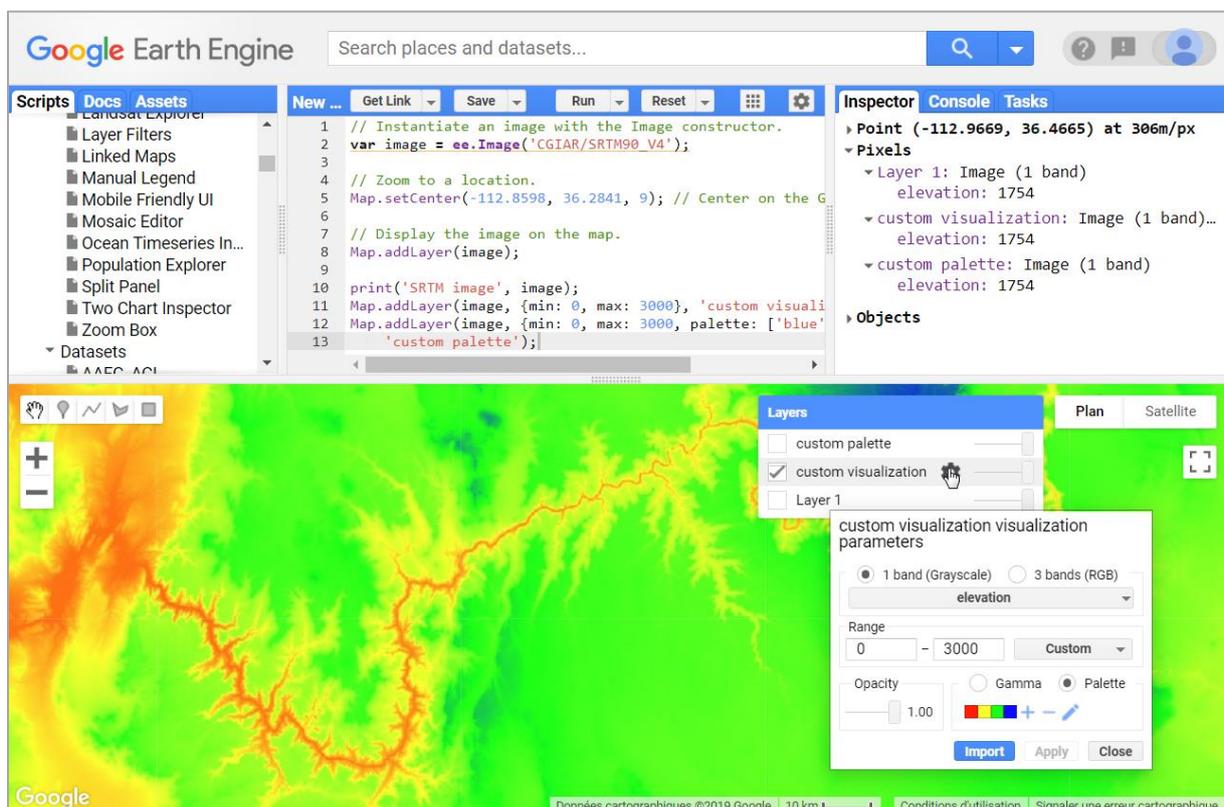
Copiez-Collez les lignes de codes dans le CODE EXPLORER, lisez les instructions et descriptions et faites l'effort de comprendre ce que vous faites. N'hésitez pas à :

- utiliser l'onglet REFERENCE de ce site ou l'onglet DOC du CODE EDITOR pour trouver plus d'information sur les fonctions utilisées
- Consulter le DATA CATALOG pour obtenir plus d'information sur les données utilisées.

**Les 4 premières rubriques de ce tutoriel (sur un total de 6) sont brièvement expliquées dans les sections ci-dessous :** objectifs et visualisation des résultats + explications supplémentaires au tutoireil officiel si nécessaire.

#### 14.3.2.2.1. Visualizing Images and Image Bands (20 minutes)

**Objectifs :** afficher correctement une image à bande unique, SRTM dans ce cas-ci, via le contrôle des paramètres de visualisation.



The screenshot displays the Google Earth Engine web interface. At the top, there is a search bar and navigation icons. The main area is divided into several panels:

- Scripts:** A list of scripts on the left, including 'Canvas Explorer', 'Layer Filters', 'Linked Maps', 'Manual Legend', 'Mobile Friendly UI', 'Mosaic Editor', 'Ocean Timeseries In...', 'Population Explorer', 'Split Panel', 'Two Chart Inspector', and 'Zoom Box'.
- Code Explorer:** A central panel showing a JavaScript script for loading and visualizing an SRTM image. The code includes comments and function calls like `ee.Image`, `Map.setCenter`, `Map.addLayer`, and `print`.
- Inspector:** A panel on the right showing the current state of the map, including a point location, pixel data, and visualization parameters.
- Map:** A central map showing a topographic elevation visualization of a region, with a color scale from green (low elevation) to red (high elevation).
- Layers:** A panel on the right showing the current layers and visualization settings. The 'custom visualization' is selected, and its parameters are shown in a sub-panel.

The 'custom visualization parameters' sub-panel shows the following settings:

- Band:** 1 band (Grayscale) selected, 3 bands (RGB) unselected.
- Band Name:** elevation
- Range:** 0 to 3000, with a 'Custom' dropdown.
- Opacity:** 1.00
- Color Scheme:** Palette selected, with a color bar showing a gradient from green to red.

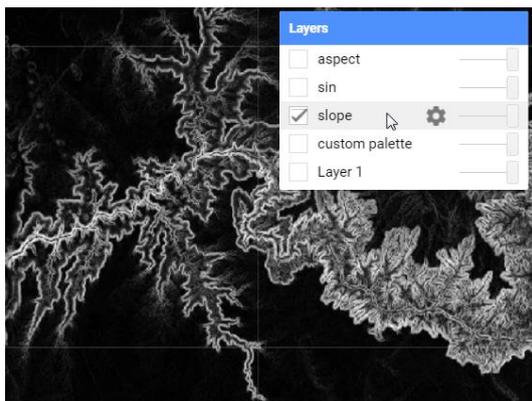
At the bottom of the map, there is a scale bar (10 km) and a copyright notice: 'Données cartographiques ©2019 Google'.

### 14.3.2.2.2. Computations using Images (20 min)

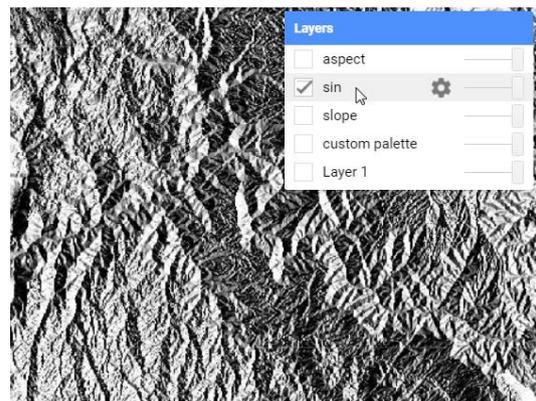
**Objectifs :** réalisation de divers calculs sur des images :

- calcul des pentes à partir d'un SRTM,
- calcul à l'aide d'opérateurs mathématiques (conversion de degrés en radians et calcul d'un sinus),
- calcul de statistiques par région

Remarque : « aspect » est exprimé en degré de 0° à 360°.



Slope



Sin(Aспект)

```
31 // Compute the mean elevation in the polygon.
32 var meanDict = srtm.reduceRegion({
33   reducer: ee.Reducer.mean(),
34   geometry: polygon,
35   scale: 90
36 });
37
38 // Get the mean from the dictionary and print
39 var mean = meanDict.get('elevation');
40 print('Mean elevation', mean);
41 var scale = srtm.projection().nominalScale();
42 print('SRTM scale in meters', scale);
43
```

Value	Type
Mean elevation	JSON
1681.47818361208	
SRTM scale in meters	JSON
92.76624232769086	

Calcul de statistiques par région

### 14.3.2.2.3. Image Collections (20 minutes)

**Objectifs :** gérer une collection d'images via :

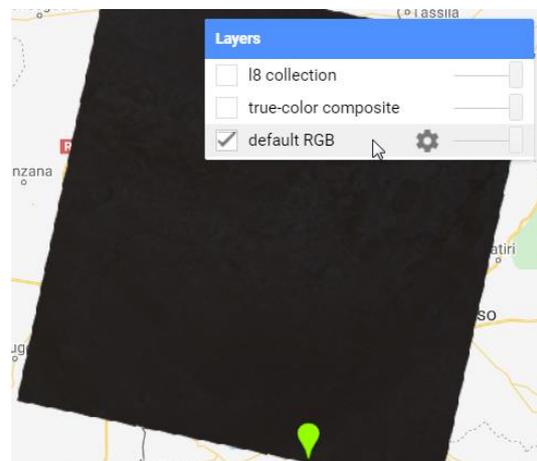
- L'importation d'une collection dans le CODE EDITOR
- Sélection d'une image d'intérêt au sein de la collection par la réalisation de :
  - un filtre spatial (par zone d'intérêt (un point))
  - un filtre temporel (par période d'intérêt)
  - un tri des images en fonction de la couverture nuageuse
  - la sélection de l'image la moins ennuagée
- La réalisation de compositions colorées vraies et fausses couleurs de qualité
- L'utilisation de la console et de l'inspecteur pour comprendre et analyser les images

```
Inspector Console Tasks
Use print(...) to write to this console.

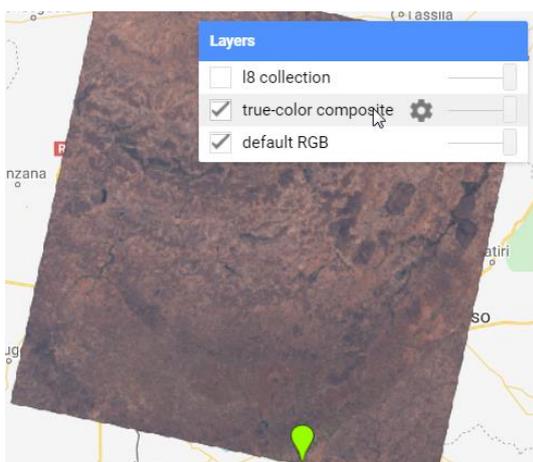
spatialFiltered      JSON
ImageCollection LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA (... JSON

temporalFiltered     JSON
ImageCollection LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA (... JSON
  type: ImageCollection
  id: LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA
  version: 1574342464420331
  bands: List (12 elements)
  features: List (39 elements)
    0: Image LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA/LC08_197...
      type: Image
      id: LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA/LC08_197052_...
      version: 1574342464420331
      bands: List (12 elements)
      properties: Object (118 properties)
        BPF_NAME_OLI: L08BPF20150116102331_201...
        BPF_NAME_TIRS: LT8BPF20150106000000_20...
        CLOUD_COVER: 0.10000000149011612
        CLOUD_COVER_LAND: 0.10000000149011612
```

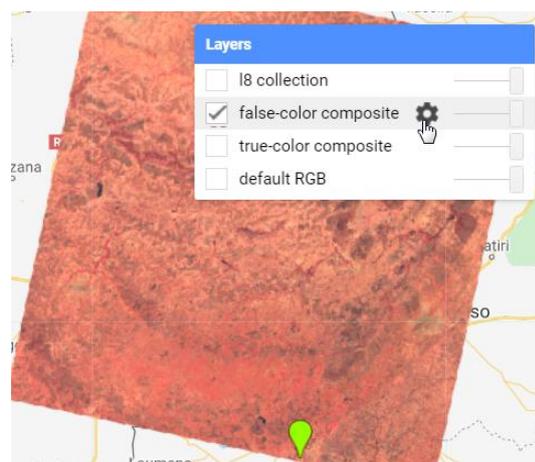
Filtres spatial et temporel sur une collection Landsat-8 dans la « Console » et (entre autres) metadata « CLOUD\_COVER » d'une image



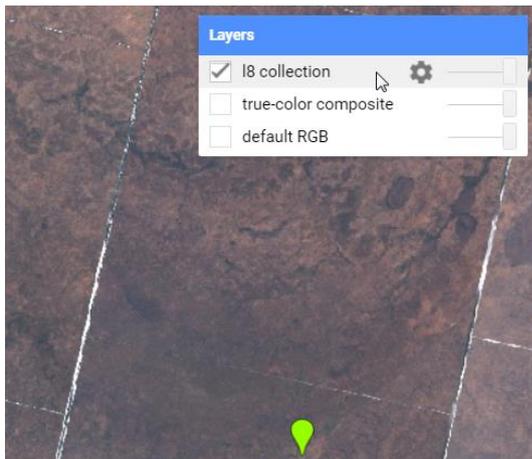
Composition RGB par défaut, de l'image présentant le moins de nuages pour la zone et la période d'intérêt identifiée par les 2 filtres



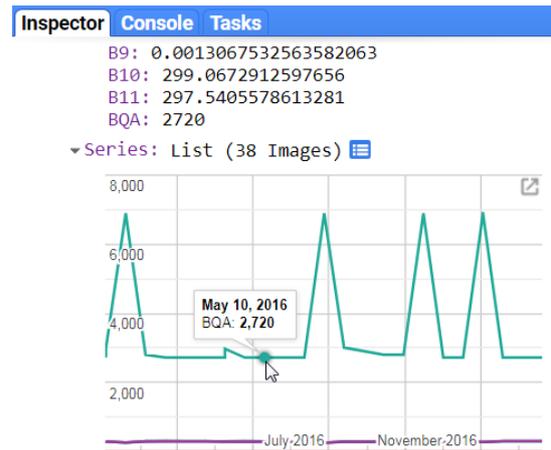
Composition RGB vraies couleurs améliorée, de l'image...(idem)



Composition fausses couleurs 543, de l'image...(idem)



Collection Landsat-8, de l'image...(idem)



Graphique des valeurs de la bande BQA pour un pixel pour les 38 images de la collection Landsat-8 2016 (2720 = pas de nuage\*)

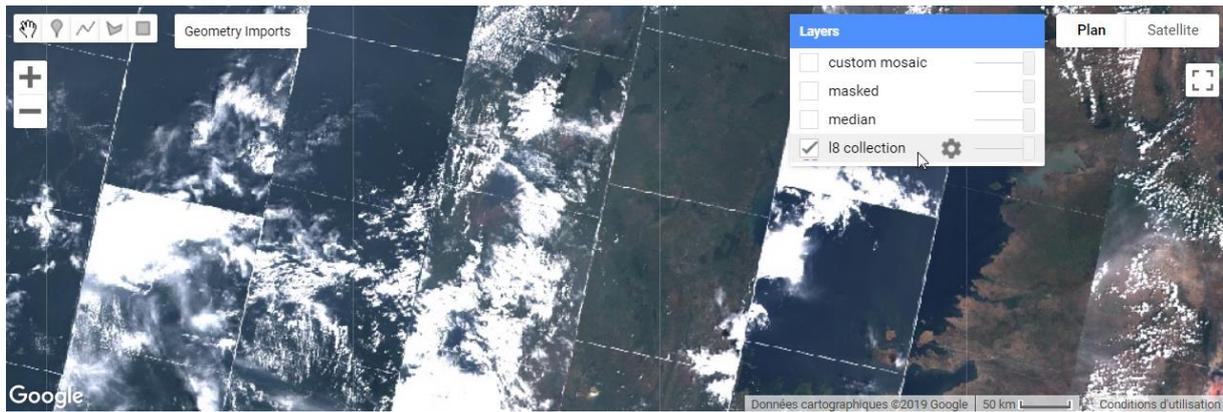
\* La signification des valeurs de la bande BQA de Landsat-8 est reprise sur la page web suivante :

- [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-collection-1-level-1-quality-assessment-band?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-collection-1-level-1-quality-assessment-band?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)
- dans la table « Landsat 8 OLI/ OLI-TIRS Level-1 Possible Attributes, Pixel Values, and Pixel Value Interpretations »

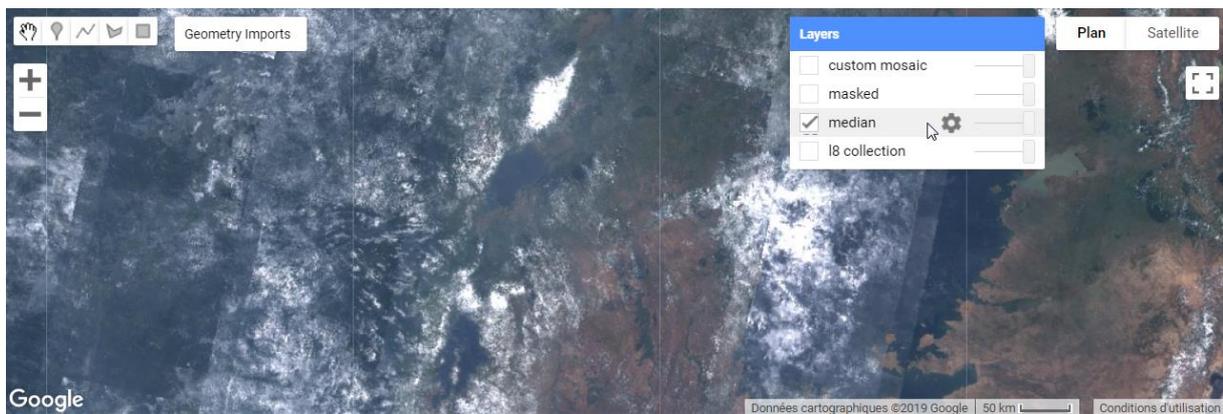
#### 14.3.2.2.4. Compositing, Masking, and Mosaicking (20 minutes)

**Objectifs** : apprendre des méthodes pour :

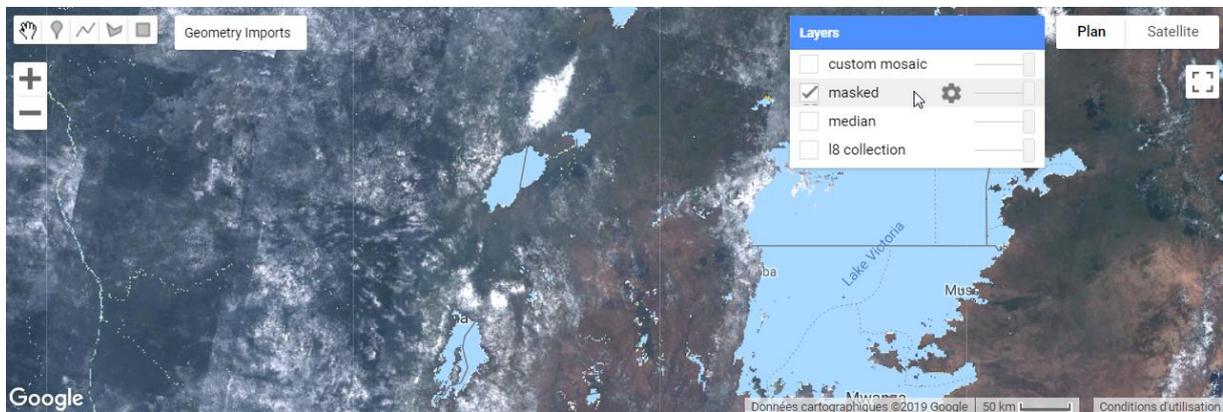
- réaliser un **composite** « **pixel le plus récent** » d'une collection d'images
- réaliser un **composite** « **pixel médian** » d'une collection d'images (Reducer median)
- réaliser un **composite personnalisé** à l'aide de **masque** et de **mosaïquage** à partir d'une collection d'images et d'un autre jeu de données



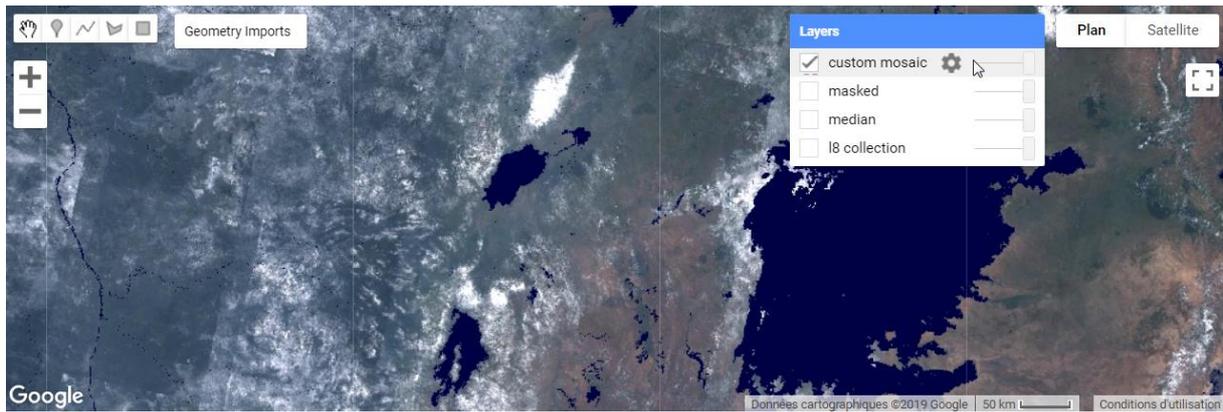
**Composite « pixel le plus récent » de la collection d'images Landsat-8 2016**



**Composite « pixel median » de la collection d'images Landsat-8 2016**



**Composite « pixel median » de la collection d'images Landsat-8 2016 masquée par les pixels classifiés comme « water » et « no data » (according to the Hansen et al. dataset) (pixels masqués = pixels transparents : on voit Google maps à la place du composite median).**



#### Mosaïque de :

- **composite « pixel median »** de la collection d'images Landsat-8 2016 masquée par les pixels classifiés comme « water » et « no data » (according to the Hansen et al. dataset)
- **une image** des zones classifiés comme « water » et « no data » (according to the Hansen et al. dataset) colorées en bleu foncé

#### 14.3.2.2.5. NDVI, Mapping a Function over a Collection, Quality Mosaicking

[...] confer tutoriel officiel

#### 14.3.2.2.6. Exporting Charts and Images

[...] confer tutoriel officiel

#### 14.3.2.3. Landsat Algorithms

For creating simple cloud-free Landsat composites

- <https://developers.google.cn/earth-engine/landsat>

### 14.4. Ressources complémentaires

- <https://developers.google.com/earth-engine>
  - Principales ressources associées à GEE
- <https://americaview.org/program-areas/education/google-earth-engine-tutorials/>
  - Tutoriaux supplémentaires
- <https://geohackweek.github.io/GoogleEarthEngine/>
  - Tutoriel d'introduction à GEE couvrant plusieurs types de manipulation

# 15. Visionnage de la vidéo « HOLOGLOBE »

## 15.1. Présentation de la vidéo « HOLOGLOBE »

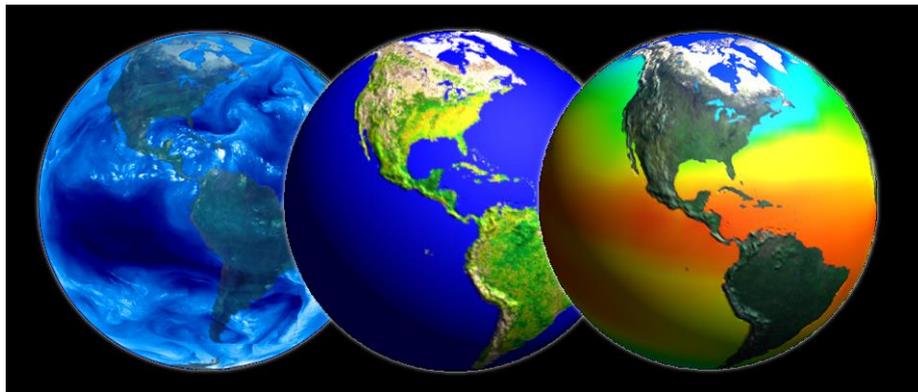
Cette petite vidéo d'animation de la NASA, d'une durée de 6 minutes, en anglais, montre, sur un globe terrestre tournant, la dynamique de plusieurs phénomènes d'origine naturelle ou anthropique (**Figure 206**).

Cette vidéo est réalisée en grande partie à partir de données issues de satellites d'observation de la terre. Entre autres, les phénomènes suivants sont illustrés:

- Dynamique des flux d'énergie de la terre (mouvements atmosphériques (formation des ouragans), courants marins, etc)
- Dynamique des températures des océans et phénomène El Nino
- Croute et plaques terrestres, tremblements de terre et volcans
- Saisons et dynamique de la végétation
- Vision nocturne de l'influence de l'homme sur la terre (lumière artificielle, incendies, agriculture sur brûlis, combustion de gaz, etc)

La traduction des commentaires de cette vidéo sont disponibles dans la section suivante.

Cette vidéo, et une série d'informations complémentaires, sont disponibles sur le site web <https://svs.gsfc.nasa.gov/155>.



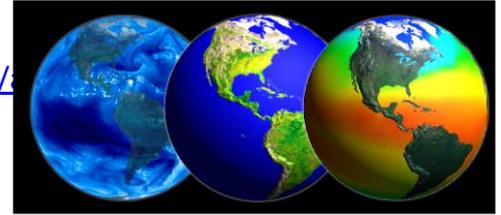
**Figure 206 : illustrations issues de la vidéo « Hologlobe » : mouvements atmosphériques, végétation, température des océans.**

## 15.2. Traduction des commentaires de la vidéo HOLOGLOBE\_v3

Source :

<https://svs.gsfc.nasa.gov/155http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/>

Durée : 6 minutes 19 secondes



La terre dans l'espace :

- 9 planètes en orbite autour du soleil
- 3<sup>ème</sup> planète est la terre
- Vénus et Mars sont les planètes les plus proches et les plus similaires par rapport à la terre.

Mais **Vénus et Mars** sont très différentes de la terre.

- **Vénus** est la plus similaire à la terre point de vue taille, masse et gravité mais a une atmosphère dense en CO<sub>2</sub> et n'a pratiquement pas d'eau avec une surface très chaude (+/- 800°F) = 400°C. ( $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$ )
- **Mars** : moitié de la taille de la terre et une atmosphère mince. Surface est froide (-190°F) = -123°C et l'eau est gelée à ces pôles et probablement en dessous de sa surface.

**Notre terre est unique :**

- 70% de la surface terrestre est couverte par de l'eau liquide
- L'atmosphère est riche en vapeur d'eau
- Planète géologiquement active
- Caractéristique principale : présence et diversité de la VIE sur terre !

**Les navettes spatiales et les satellites qui enregistrent des images de la terre changent notre vision de la terre.**

Nous voyons maintenant les **océans, les surfaces terrestres, l'atmosphère**, la vie, le tout interconnecté dans un système mondial. La terre est baignée dans **l'énergie solaire**. Les océans, surfaces terrestres et atmosphères absorbent et sont réchauffés par l'énergie solaire. La chaleur absorbée par les océans et transportée par les **courants marins** est continuellement libérée vers l'atmosphère. La chaleur et l'humidité libérées par les océans dirigent la **circulation atmosphérique** et le **climat**. L'humidité dans l'atmosphère forme les **nuages** qui couvrent en moyenne 40% de la surface terrestre à tout moment donné.

"The pattern in cloud motion in this time lapse sequence shows how earth's winds, moving bands or zones, which define regional winds directions" (*difficile à comprendre et traduire*).

**Le mouvement de l'humidité ou de la vapeur d'eau dans l'atmosphère** jouent un rôle important dans la détermination du climat. Dans cette animation des mouvements des vapeurs d'eau de l'atmosphère, les **ouragans** de 1995 sont visibles. Les ouragans se forment

au large des côtes africaines (2m32) et se déplacent à l'ouest à travers l'Océan Atlantique vers les Caraïbes et la côte est des USA.

Le **climat mondial** est également influencé par la manière dont la chaleur est répartie par les océans. Sont montés ici les **changements de températures de surface des océans** sur une période de 9 ans. Les surfaces d'eau les plus chaudes sont indiquées en rouge, les plus froides en bleu. Avec ce genre de données, il est possible de détecter l'augmentation anormale de température qui arrive lorsque les eaux froides en temps normal de l'est de l'Océan Pacifique sont remplacées par des eaux plus chaudes. Ce phénomène est connu sous le nom **d'El Nino**. El Nino pourrait perturber le climat à une échelle mondiale causant de vastes inondations et sécheresses.

Drainant les océans [...], il y a la surface solide de la terre avec la **croûte terrestre** qui est divisée en « Hautes terres » et « Basses terres »

- Les Hautes terres sont les terres émergées qui forment les continents
- Les Basses terres forment les bassins océaniques.

La croûte terrestre n'est pas une coquille fixe et continue. Elle est brisée en une **mosaïque de plaques mouvantes**. Au fur et à mesure que ces plaques bougent et se frottent les unes aux autres, elles libèrent d'énormes quantités d'énergie sous la forme de **tremblements de terre**. Les points jaunes montrent la localisation des tremblements de terre qui ont eu lieu entre 1980 et 1995 avec une magnitude supérieure à 4.5 sur l'échelle de Richter. Ces tremblements de terre indiquent clairement les limites des plaques de la croûte terrestre.

Lorsque les plaques océaniques s'entrechoquent avec les plaques terrestres [...] cela forme les **volcans**. Les triangles rouges indiquent les éruptions volcaniques enregistrées qui se sont passées entre 1960 et 1995. Comme pour les tremblements de terre, la plupart des volcans sont localisés le long des limites des plaques terrestres.

Les **océans, l'atmosphère et les continents** jouent tous un rôle critique pour le maintien de la vie durable sur terre. Les caractéristiques des **courants marins, des vents, et de la topographie** peuvent faire d'une région un désert et d'une autre une région verte [...]. Les **changements de saisons affectent grandement la végétation terrestre**. Les couleurs vertes et jaunes montrent comment les plantes grandissent et dépérissent au cours des saisons d'une année. Les vastes **déserts** du nord de l'Afrique, de la péninsule arabique et de l'Asie centrale sont facilement reconnaissables à cause de l'absence de végétation.

**L'influence des hommes** sur la terre peut également être vue depuis l'espace. Une vision de la terre pendant la nuit permet de voir les lumières des campements, villages et villes qui sont éclairés. Les endroits **fortement peuplés** apparaissent en blanc. Les **incendies et l'agriculture sur brûlis (slash and burn) et la combustion de gaz** dans les champs de pétroles sont montrés en rouge et jaune. Depuis ce point de vue, l'importance de l'activité humaine sur la planète peut être évaluée. L'entièreté du globe est concernée.

Un suivi global de la terre nous aide à comprendre les interactions complexes entre les atmosphères, les océans et les terres ainsi que leurs impacts sur la vie. Seule une vue mondiale nous permet d'apprécier notre terre en tant que planète.

# 16. Sites web intéressants

## 16.1. Applications environnementales

Changement de la **couverture forestière mondiale** entre 2000-2018 à partir d'images Landsat, University of Maryland, application web.

<http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>

Quelques exemples de **détection de changement avec des images Landsat**, vidéo, anglais.  
« A Planetary Perspective: With Landsat and Google Earth Engine ».

<http://www.youtube.com/watch?v=Ezn1ne2Fi6Y>

Quelques exemples d'**applications environnementales** à partir des images Landsat, site web, anglais.

« Landsat Applications ».

<https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/landsat-applications/>

<http://www.nasa.gov/content/goddard/environmental-watch-with-nasa-s-landsat-satellites/>

Observation mondiale des **feux, de la végétation et de la couverture neigeuse** à partir des images MODIS NDVI, NASA, entre Juillet 2002 et Juillet 2011.

<http://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=3868>

## 16.2. Divers

### Programme belge "STEREO"

- Belgium has its very own national program supporting research in Earth observation called STEREO (Support To Exploitation and Research in Earth Observation). Documentation sur tous les projets STEREO disponible ici:
  - <https://eo.belspo.be/en/stereo-in-action>

**Le film documentaire "HOME"**, un film de Yann Arthus-Bertrand, 90 minutes, 2009, français, disponible gratuitement ici:

- <http://www.youtube.com/watch?v=NNGDj9IeAul&feature=youtu.be&hd=1>.
- Site web du film : <http://www.homethemovie.org/>. « Ce film développe le lien qui unit l'homme à la Terre. Conçu comme un carnet de voyages, il est constitué uniquement d'images aériennes et d'une voix off » (Source : Wikipedia).

**EARTH as ART**, NASA, Top Five, collection de magnifiques images satellites

- Vidéo en anglais: <http://www.youtube.com/watch?v=Tq88dRFokgg>

- Page web : [http://www.nasa.gov/connect/ebooks/earth\\_art\\_detail.html](http://www.nasa.gov/connect/ebooks/earth_art_detail.html)

**Simulation 3D de la couverture nuageuse mondiale** durant 7 jours sur base de données réelles, vidéo.

- [https://www.youtube.com/watch?annotation\\_id=annotation\\_397244329&feature=iv&src\\_vid=JXErLns1mM&v=zIqjz9OEhk0](https://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_397244329&feature=iv&src_vid=JXErLns1mM&v=zIqjz9OEhk0)

**Simulation numérique des courants atmosphériques et marins**, vidéo, anglais.

« Dynamic Earth, NASA. »

- <http://www.youtube.com/watch?v=JQZ3QkaWWqA>

# 17. Exemples d'applications de la télédétection spatiale pour la gestion des risques et des catastrophes

## 17.1. Copernicus Emergency Management Service (Copernicus EMS)

Présentation générale du programme COPERNICUS (vidéo 4 min 30, anglais)

- [http://www.esa.int/spaceinvidéos/Vidéos/2016/02/Sentinels\\_for\\_Copernicus](http://www.esa.int/spaceinvidéos/Vidéos/2016/02/Sentinels_for_Copernicus)
  - Les satellites Sentinel et exemples d'applications
  - Les données satellites, aériennes, et stations au sol, intégrées dans un même système : COPERNICUS
  - Cœur du système = famille de satellites Sentinel
  - Rôle des 6 satellites Sentinel

Copernicus Emergency Management Service (Copernicus EMS)

- <https://emergency.copernicus.eu>
- Copernicus Emergency Management Service (Copernicus EMS) provides information for emergency response in relation to different types of disasters, including meteorological hazards, geophysical hazards, deliberate and accidental man-made disasters and other humanitarian disasters as well as prevention, preparedness, response and recovery activities. The Copernicus EMS is composed of:
  - an **on-demand mapping** component providing rapid maps for emergency response and
  - **risk & recovery maps** for prevention and planning and of the early warning and monitoring component which includes systems for floods, droughts and forest fires:
- **4 modules constitute the Copernicus EMS** : confer <https://emergency.copernicus.eu/>
  - **The Copernicus EMS - MAPPING**
    - The Copernicus EMS - Mapping addresses, with worldwide coverage, a wide range of emergency situations resulting from natural or man-made disasters. Satellite imagery is used as the main datasource,

- <https://www.youtube.com/watch?v=NhFZa7gQ2zA>
- Rapid mapping Flood: the Copernicus Emergency Management Service
- <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/service-overview>
- Rapid Mapping consists of the provision of geospatial information within hours or days from the activation in support of emergency management activities immediately following a disaster. Standardised mapping products are provided:
  - to ascertain the situation before the event (reference product),
  - to roughly identify and assess the most affected locations (first estimate product),
  - assess the geographical extent of the event (fdelineation product) or
  - to evaluate the intensity and scope of the damage resulting from the event (grading product).
- Examples here:
  - <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR388>
- Map of active risk:
  - <https://emergency.copernicus.eu/mapping/map-of-activations-risk-and-recovery>
- **FLOODS: The European and Global Flood Awareness Systems (EFAS & GloFAS)**
  - Vidéo, anglais, 8 minutes
    - <https://www.youtube.com/watch?v=DwFAjr6f8jQ>
    - Short introductory vidéo explaining the structure of EFAS and the main objectives using floods in Eastern Europe in May 2010
    - Passer le début: combine précipitations + conditions hydrologiques et fait un warning !
  - Prévission des inondations via un viewer spatial :
    - [https://www.efas.eu/efas\\_frontend/#/home](https://www.efas.eu/efas_frontend/#/home)
- **FOREST FIRE: The European Forest Fire Information System (EFFIS)**
  - <https://effis.jrc.ec.europa.eu/>
  - Visualisation des risques d'incendies (prévisions, feux actifs et surfaces brûlées) :
    - [https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis\\_current\\_situation/](https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis_current_situation/)
- **The EMS Drought Observatory (DO)**
  - <https://edo.jrc.ec.europa.eu/tumbo/php/index.php?id=1400>
    - Indicateur de sécheresse combiné, visible dans une interface web de visualisation cartographique

**Plusieurs exemples de l'utilisation des satellites dans le cadre de la gestion des crises :**

- [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Emergency\\_management](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Emergency_management)
- Services for emergency management response will help mitigating the effects of natural and manmade disasters such as floods, forest fires and earthquakes and contribute to humanitarian aid exercises.

## 17.2. Le SERTIT, le Service régional de traitement d'image et de télédétection (France)

- Vidéo de présentation du SERTIT, français, 6 minutes, français
  - <http://sertit.unistra.fr/>
  - A partir de 0 min 54 sec : explications en lien avec le service de cartographie rapide/de crise
- <http://fr.euronews.com/2016/06/03/copernicus-ou-quand-l-imagerie-satellite-permet-d-aider-a-la-gestion-des>
  - Vidéo en français de 1 min 26.
  - « Copernicus ou quand l'imagerie satellite permet d'aider à la gestion des catastrophes naturelles, 8 juin 2016 »
  - Le SERTIT, impliqué dans le service européen de gestion des situations d'urgence Copernicus, explique en vidéo sur la chaîne Euronews comment l'imagerie satellite permet de fournir une aide à la gestion des catastrophes naturelles, notamment dans le contexte d'inondations en France, Allemagne et en Belgique.
- Navigateur des cartes des crises les plus récentes
  - <http://sertit.unistra.fr/cartographie-rapide/>

## 17.3. La Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures

Voir le site web de la Charte :

- <https://disasterscharter.org/fr/web/guest/home>

Qu'est-ce que la Charte ? :

« Des **données satellitaires** au service des **interventions d'urgence** à l'échelle **mondiale**. »

La Charte est une **collaboration mondiale**, grâce à laquelle des **données satellitaires** sont disponibles au profit de la **gestion des catastrophes**. En combinant les actifs d'observation de la terre de différentes agences spatiales, la Charte permet de coordonner les ressources et l'expertise pour **répondre rapidement** aux situations de catastrophe majeures; aidant ainsi les autorités de protection civile et la communauté humanitaire internationale.

Cette initiative unique permet de mobiliser des agences dans le monde entier et de bénéficier de leur savoir-faire et de leurs satellites par le biais d'un seul point d'accès qui fonctionne 24 heures par jour, 7 jours par semaine et sans frais pour l'utilisateur. »

### Résumé infographique

- <https://disasterscharter.org/web/guest/about-the-charter>

### 2 vidéos de présentation, en anglais, 3 min + 5 min (sur la version anglaise du site web)

- Ces vidéos expliquent comment fonctionne la charte et à quoi elle sert.
- <https://disasterscharter.org/en/web/guest/about-the-charter>

### 1 vidéo de présentation de la charte, en français, 3 minutes

- Fonctionnement de la charte et exemples, en particulier concernant les ouragans et cyclones
- <https://charte.cnes.fr/fr/videos-22>
- ou <https://www.youtube.com/watch?v=XKqyXImYRbl&t=177s>

### Accès aux activations de la charte

- Liste des activations :
  - <https://disasterscharter.org/en/web/guest/charter-activations>
- « Charter Geobrowsing Tool » : portail web cartographique des activations :
  - <https://cgt.disasterscharter.org/en>

### S'abonner à la newsletter

- <https://disasterscharter.org/web/guest/news>

### Autre vidéo mentionnant la charte

- Présentation de la charte et de l'utilisation des images satellites pour le suivi des catastrophes (éruption volcanique (2), inondation, marée noire,...). « *Les satellites au service des populations. L'ESA et les autres agences spatiales ont mis à disposition leurs satellites afin de venir en aide aux pays frappés par les catastrophes naturels ou industriels. © ESA* »

- vidéo en français, 2007, 5 minutes
- <https://www.youtube.com/watch?v=wXhaJLLmr2k>

#### Autres ressources sur la Charte

- <https://charte.cnes.fr/fr/>
- <https://cnes.fr/fr/web/CNES-fr/10586-gp-la-charte-espace-et-catastrophes-majeures-sous-presidence-francaise.php>

## 17.4. Exemples supplémentaires d'applications de la télédétection spatiale pour la gestion des risques et des catastrophes par outils ou thématique

### Google Earth Engine (GEE)

- Google Earth Engine (GEE)
  - <https://earthengine.google.com/>
  - Plateforme pour faire tourner des géo-algorithmes à l'échelle mondiale en utilisant les ressources de Google et qui donne accès à de très grandes bases de données d'images satellites à l'échelle mondiale.
- Google Earth Engine (GEE) Timelapse
  - Timelapse 1984-année actuelle moins 1, série d'exemples d'évolution temporelle de la surface terrestre suite à diverses actions anthropiques mise en évidence
  - <https://earthengine.google.com/timelapse/>
  - Vidéo 2 min
    - <https://www.youtube.com/watch?v=kiYHGkSb-fU>
- Cas d'études
  - [https://earthengine.google.com/case\\_studies/](https://earthengine.google.com/case_studies/)
  - Global Forest Cover Change
  - Malaria Risk Mapping

### Google Earth: exemples d'images de catastrophes naturelles visualisables dans GOOGLE EARTH

Certains sites web mettent à disposition des fichiers dont l'extension est « .KMZ » ou « .KML », formats qui permettent la visualisation de ces données dans GOOGLE EARTH facilement et rapidement sans devoir télécharger l'image brute. Voici quelques exemples :

- **Inondation**

- Australian city of Rockhampton, 2011
  - Capteur : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) on NASA's Terra
  - <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=48456&src=eorss-iotd>
  - Cliquer sur "Google Earth file (KML)"
- **Typhon**
    - <http://www.gearthblog.com/blog/archives/2016/10/acquisition-imagery-natural-disasters-improving.html>
    - Hurricane Matthews, 2016, widespread devastation, crossing over Haiti, the Bahamas and then up the east coast of the United States.
    - Cliquer sur: "You can see the satellite imagery in Google Earth with [this KML file](#)  from Google Crisis Response"
    - Dans Google Earth : cocher uniquement : « Hurrigan Matthews 2016 > Haiti > Digital Globa imagery > Les Irois, Haiti »
- **Tremblement de terre**
    - <http://www.gearthblog.com/blog/archives/2016/09/post-earthquake-kumamoto-google-earth-3d.html>
    - Large earthquakes in the City of Kumamoto, Japan, 2016
    - Images acquises après le séisme: visualisation des destructions
    - Google Earth tour of the area showing all the light blue roofs, which you can view in Google Earth with [this KML file](#)  or see in the YouTube vidéo below.

## Déforestation

- Déforestation en Amazonie et dans le monde, Timelapse, vidéo 3 min.
  - <https://www.youtube.com/watch?v=b4eLTYUci7k>
- Pattern de déforestation en Amazonie, en détails
  - Visualisation dans Google Earth Pro des motifs de déforestation au Brésil, Indonésie, etc
- Déforestation au Brésil, Etat du Rondonia, en détails, vidéo haute qualité (30 ")
  - <https://www.youtube.com/watch?v=JsIB81sLe2w>
- Déforestation à Haïti, vidéo
  - <http://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=2640&button=popular>
- Autre courtes vidéos sur différents endroits déforestés entre 2000 et 2012, avec LANDSAT

- <https://www.youtube.com/channel/UCGnX8ABNZYuZrhzT-sJVaeg>
- Monitoring Forests From the Ground to the Cloud , vidéo 5 min, Système d’alerte de déforestation via Google Earth Engine, exemples internationaux,
  - <https://www.youtube.com/watch?v=ymKHb3WJLz4>
- Déforestation en Papouasie-Nouvelle-Guinée (2 images géotiff)
  - <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=8810>
- Déforestation au Brésil (2 images géotiff)
  - <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=6811>

### Mine

- Appalachian Mountaintop Removal in Google Earth & Maps (vidéo en anglais, 5 min)
  - <https://www.youtube.com/watch?v=aiSzOiGFa-0>
- ~~Visible également dans GOOGLE EARTH PRO Desktop > Menu sensibilisation mondiale > extraction minière à ciel ouvert dans les Appalaches. N’est plus disponible !~~
- En savoir plus : <https://appvoices.org/end-mountaintop-removal/mtr101/>

### Masse d’eau

- Mer d’Aral: Aral Sea Time Lapse, vidéo 1 min
  - <https://www.youtube.com/watch?v=NxFNoHBCuWA>
- Lac Chad: UNEP & Google Earth highlights environmental change, vidéo 1 minute
  - <https://www.youtube.com/watch?v=JXW29zsr6xg>

### Inondation

- Centre royale de télédétection du Royaume du Maroc, cartographie rapide en cas d’inondations
  - <https://www.crts.gov.ma/thematiques/risques-naturels/inondations>
- Télédétection et gestion des catastrophes naturelles : application à l’étude des inondations urbaines de Saint-Louis et du ravinement lié à l’érosion hydrique à Nioro-Du-Rip (Sénégal)
  - <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00434297/document>
- « Crues dans les Alpes-Maritimes : les vidéos et données satellites dévoilent une catastrophe inédite. »

- Vidéo de 5 minutes qui montre notamment une cartographie des zones inondées et une localisation des dégâts, toutes deux faites à partir d'images satellites.
- <https://www.youtube.com/watch?v=mcuPHusMiOM>

### Glaces et fontes des glaces

- Annual Arctic Sea Ice Minimum 1979-2022 with Area Graph, vidéo
  - <https://svs.gsfc.nasa.gov/5036>
- Weekly Animation of Arctic Sea Ice Age with Graph of Ice Age by Percent of Total: 1984 – 2016, vidéo + textes:
  - <http://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=4509&button=popular>
- Fonte des glaces en Arctique : vidéo de Greenpeace
  - <https://www.facebook.com/greenpeace.belgium/vidéos/10154505188555239/>
- Epaisseur de glace par Radar : Icesat-2 Measurements Over Antarctica (prelaunch), vidéo 2 min,
  - <http://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=4492&button=recent>

### Feux

- <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>

### Température du globe

- Global Temperature Anomalies from 1880 to 2022, vidéo,
- <https://svs.gsfc.nasa.gov/5060> <http://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=4419&button=popular>

### Urbanisation

- Urban growth of Las Vegas (1985 - 2021) - Time lapse, vidéo 30 secondes,
- <https://www.youtube.com/watch?v=adAaosRTjws>  
<https://www.youtube.com/watch?v=cPRGfyd93fo>

### Tsunami

- Cartes satellites des zones sinistrées au Japon, vidéo, français, 1 minute,
  - <https://www.youtube.com/watch?v=XJVF1TNnLZY>
  - « Les scientifiques du Service régional de traitement d'image et de télédétection (SERTIT) de Strasbourg aident les sinistrés japonais. Ils élaborent de précieuses cartes à l'aide de satellites français pour permettent aux secouristes de se déplacer dans les zones dévastées. »

## Littoral

- La télédétection pour surveiller le littoral, vidéo français 3 minutes, drones,
  - [https://www.youtube.com/watch?v=SNLYd\\_FAYOg](https://www.youtube.com/watch?v=SNLYd_FAYOg)

## Marée noire

- NASA, Satellites View Growing Gulf Oil Spill,
  - <https://www.youtube.com/watch?v=mCWW5xt3Hc8>
- NASA Aids Nation's Response to Oil Spill with Aircraft, Satellites,
  - <https://www.youtube.com/watch?v=f5qh13Xp-0>

## Volcan

- Monitoring Volcanoes Using ASTER Satellite Imagery, vidéo, English, 5 min,
  - <https://www.youtube.com/watch?v=A39FnHdSoNk>

## Sécurité alimentaire

- <http://www.fews.net/fr>

## Avertissements précoces

- Suivi des conditions de végétation, précipitations, climat, niveau des étendues d'eau, etc dans l'optique de déclencher des avertissements vers les autorités d'un pays, d'une région en cas de problème/crise
  - <https://earlywarning.usgs.gov/fews>

## Refugiés

- Story Map about Rohingya refugees (by the The UN Refugee Agency (UNHCR))
  - <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/esri-story-maps/contest/winners-gallery/2018-winners>

## Divers

- ENVI, Les images satellites pour la **gestion des catastrophes naturelles**, vidéo français, 28 minutes
  - <https://www.youtube.com/watch?v=Tp2hleeSVXE>
- La télédétection appliquée aux **catastrophes naturelles** : Faits et chiffres. Article très intéressant !
  - <https://www.scidev.net/afrique-sub-saharienne/sciences-de-la-terre/article-de-fond/la-t-l-d-tecton-appliqu-e-aux-catastrophes-naturelles-faits-et-chiffres.html>

- Observation satellite catastrophes naturelles, vidéo en français (mais ancienne (1998) !), 2 minutes
  - « 25 août 1998 Catastrophes naturelles : Diverses organisations internationales disposent de moyens de haute technologie pour observer les évolutions climatiques, comme l'Agence spatiale européenne qui dispose, grâce aux satellites, d'images pour prévenir contre d'éventuelles catastrophes. Images d'archive INA Institut National de l'Audiovisuel »
  - <https://www.youtube.com/watch?v=FINb3xtd6O4>
  
- MapGive
  - <https://mapgive.state.gov/>
  - Volunteers like you can help trace roads, buildings, and houses using OpenStreetMap that will aid in **humanitarian missions**.
  
- Nombreux **exemples d'analyse diachroniques** à partir d'images satellites, classés par thèmes, lieux, dates.
  - <http://earthobservatory.nasa.gov/Images/?eocn=topnav&eoci=images>
  
- Systèmes d'analyse des risques par télédétection spatiale
  - [https://ressources.uved.fr/Grains\\_Module3/Teledetection\\_spatiale/site/html/Tel\\_edetection\\_spatiale/Teledetection\\_spatiale.html](https://ressources.uved.fr/Grains_Module3/Teledetection_spatiale/site/html/Tel_edetection_spatiale/Teledetection_spatiale.html)
  
- Liste de données SIG sur des catastrophes naturelles.
  - <https://freegisdata.rtwilson.com/#natural-disasters>

# 18. Recherche d'images satellites sur le web

Une des premières étapes de tout travail en télédétection spatiale est de se procurer les images satellites à partir desquelles votre étude pourra être menée. Cette section a pour objectif de vous introduire à la recherche d'images sur le web.

Avant de commencer votre recherche d'images, il est important que vous cerniez clairement quel sont vos **objectifs** (en termes de résultats) et quels sont vos **moyens** (connaissance, argent, temps).

Au cours de vos recherches, vous devrez trouver un juste compromis entre ce que le web vous « offre » et ce que vous recherchez. En particulier, vous ferez très attention aux critères suivants:

- **Type d'image** pertinente pour répondre à vos objectifs en termes de résolution spatiale, temporelle et spectrale.
- **Disponibilité** d'images pour la zone et l'époque sur lesquelles vous voulez travailler (couverture nuageuse)
- **Prix** des images (gratuit vs très cher !)

## GOOGL EARTH (gratuit) :

Vous pouvez enregistrer (sur votre disque dur) les images qui apparaissent à l'écran lors de votre visite dans Google Earth. Pour ce faire, après avoir zoomé sur le lieu d'intérêt, cliquez sur « **Fichier/Enregistrez/Enregistrez l'image/...** » et vous pourrez sauvegarder la vue en format « jpg ». **Attention**, l'image que vous enregistrez par cette opération n'est donc pas une image satellite en tant que telle, mais une simple « capture d'écran » de l'image telle qu'elle est affichée sur votre écran. L'information spectrale contenue dans cette image jpg est donc beaucoup plus pauvre que celle contenue dans une image satellite réelle. De plus l'image jpg ne sera pas géoréférencée, et la résolution spatiale de l'image dépendra du zoom que vous avez utilisé lors de la capture d'écran. Vous devrez donc tenir compte de ces limitations si vous comptez utiliser des images dérivées de Google Earth. Un exemple d'utilisation d'images de Google Earth : image pour fond de carte à but illustratif.

## USGS EARTH EXPLORER (gratuit)

- <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS Earth Explorer, catalogue de la « United States Geological Survey » (USGS), donne accès à de nombreux types d'images dont les images :
  - **LANDSAT**
  - **ASTER** : altitude, température, réflectance (14 bandes spectrales)

- <https://asterweb.jpl.nasa.gov/>
- <https://asterweb.jpl.nasa.gov/characteristics.asp>
- **Données d'ALTITUDE** : DEM (Digital Elevation Model) ou MNT (Modèle Numérique de Terrain) pour l'ensemble de la planète à ~30 mètres de résolution spatiale via le menu « Data Sets > Digital Elevation > SRTM »
- Toute une série de cartes thématiques (occupation du sol,...)
- **RADAR**
- ...

### NASA EARTHDATA (gratuit)

- <https://earthdata.nasa.gov/>
- Grande variété de données, dont des images issues de la télédétection, dont le Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM), un **DEM global à 30 mètre de résolution spatiale** (info ici <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>)

### COPERNICUS: Copernicus is a European system for monitoring the Earth (gratuit)

- Page principale d'accès aux produits Copernicus « Land »
  - <https://land.copernicus.eu/>
- Produits végétation, dont le NDVI
  - <https://land.copernicus.eu/global/themes/vegetation>
- **Copernicus Open Access Hub** : accès aux données Sentinel-1, Sentinel-2 et Sentinel-3
  - <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- **Sentinel Hub** : accès facile aux données Sentinel du programme Copernicus
  - Page principale
    - <https://www.sentinel-hub.com/>
  - EO Browser
    - <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser>

### IMAGES BASSE RESOLUTION : SPOT VEGETATION, METOP-AVHRR, PROBAV (gratuit):

- <http://www.vito-eodata.be/PDF/portal/Application.html#Home> , S'enregistrer, Rechercher un produit, le télécharger et le visualiser dans un viewer
- VGT extract : logiciel à télécharger (avec java) (<https://rs.vito.be/africa/en/software/Pages/vgtextract.aspx><http://www.vgt4africa.org/VGTExtract.do>) et installer sur votre pc. Cet outil permet d'extraire du dossier zipper, uniquement les canaux que l'on désire, de découper spatialement les images selon une région d'intérêt définie par l'utilisateur ou préenregistrée et de convertir

les données dans un format plus facile à utiliser (ENVI, géotiff, ERMapper ...) Logiciel « Crop VGT » disponible pour les pays non africains.

### **PLANET.COM (gratuit et payant)**

- <https://www.planet.com/>
- Une couverture satellite de la terre entière chaque jour (ou presque) à très haute résolution spatiale (0.72 cm)!!

### **DIGITALGLOBE (très haute résolution spatial, payant)**

- Page principale du site web: <https://www.digitalglobe.com/>
- Portail de recherche d'images :
- <https://browse.digitalglobe.com/imagefinder/main.jsp;jsessionid=7AB20ED9574927503AD11E38FBEA6237?>

### **AIRBUS DEFENSE AND SPACE – SPOT IMAGE :**

- Page principale
  - <https://www.intelligence-airbusds.com/geostore/>
- Navigation et recherche de produits
  - <http://www.geo-airbusds.com/en/4871-browse-and-order>
- produits spot, autres satellites, spot scene et spot view, fiches techniques, etc
  - <http://www.geo-airbusds.com/fr/>
- En 1994, le **CNES** (Centre National d'Etudes Spatiales français) a lancé le programme ISIS (**Incitation à l'utilisation Scientifique des Images Spot**), destiné à faciliter l'accès à l'imagerie Spot pour l'ensemble de la communauté scientifique, en lui permettant d'acquérir ces données satellitaires à un tarif préférentiel. ISIS est accessible à tout chercheur et étudiant travaillant dans un laboratoire européen.
  - <https://www.theia-land.fr/le-programme-isis-du-cnes-sintegre-a-dinamis/>
  - <https://www.theia-land.fr/>

### **PPNC – Plan Photographique Numérique Communal (Belgique) (gratuit)**

- La Région Wallonne met à disposition du grand public toute une série d'information de type géographique (carte thématique, MNT, etc) sur des serveurs web de type ArcIMS accessible en mode « lecture seule » via ArcGIS.
- Démarrez un projet ArcGIS et référez-vous aux notes de TP relatives à ArcGIS (disponible ici : <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/135775>) à la section « Ajouter des données ».

### **AUTRES (gratuit):**

- Africa data dissemination service
  - <http://earlywarning.usgs.gov/adds/imgbulks3.php?imgtype=nd&spextent=a>
- Site de BELSPO: liste de satellites et liens
  - <http://eo.belspo.be/Directory/Satellites.aspx>
  - exemples : CORONA, IKONOS2, NOAA, Airborne platform-Apex, MSG3, PROBA-CHRIS, ENMAP

### **LISTE DE SITES WEB listant des sites web fournissant des images satellites**

- 15 Free Satellite Imagery Data Sources
  - <https://gisgeography.com/free-satellite-imagery-data-list/>
- 50 Satellites You Need To Know: Earth Satellite List
  - <https://gisgeography.com/earth-satellite-list/>
- Resources for Finding and Using Satellite Images
  - <https://gijn.org/resources-for-finding-and-using-satellite-images/>

# 19. Ressources complémentaires en ligne

Sont reprises ci-dessous une sélection de ressources en ligne pour l'apprentissage des techniques d'analyses des données d'observation de la terre

## 19.1. ARSET NASA Applied Remote Sensing Training

En anglais et parfois en espagnol.

Gamme très large et très variée de **tutoriaux prêts à l'emploi** pour apprendre les techniques d'analyses des données d'observation de la terre.

Up to date.

- <https://arset.gsfc.nasa.gov/>

## 19.2. SNAP de l'ESA

Ensemble de tutoriaux (50) développés principalement par l'**ESA** et focalisés essentiellement sur l'utilisation du logiciel **SNAP**

- <http://step.esa.int/main/doc/tutorials/>

## 19.3. EO College - The first Massive Open Online Course on Radar Remote Sensing

Ce site est un **excellent cours moderne complet sur la télédétection RADAR** avec théorie et exercice.

Le site web présente cependant quelques ratés pour le moment (octobre 2019).

**Page d'accueil**

- <https://eo-college.org/>

**Introduction au cours**

- <https://eo-college.org/courses/echoes-in-space/lessons/history/topic/what-is-radar/>

**Chaine YOUTUBE de EO College**

- <https://www.youtube.com/channel/UCKa-UP2X3y3JpJRRvARzEhQ>

## Liens vers une série de cours RADAR supplémentaires

- <https://eo-college.org/resources/#results>

## RADAR COURSES I, II, III by ESA

- <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/ers/instruments/sar/applications/radar-courses>

## 19.4. SERVIR Training Materials

En anglais.

### Page web principale:

- <https://www.servirglobal.net/>

“SERVIR is a joint development initiative of **National Aeronautics and Space Administration (NASA)** and **United States Agency for International Development (USAID)**, SERVIR works in partnership with leading regional organizations world-wide to **help developing countries** use information provided by **Earth observing satellites and geospatial technologies** for managing climate risks and land use. We empower decision-makers with tools, products, and services to act locally on climate-sensitive issues such as disasters, agriculture, water, and ecosystems and land use.”

“SERVIR aims to strengthen the ability of governments and other development stakeholders to incorporate Earth observations and geospatial technology into decision-making through workshops, **training events**, and other capacity building activities.”

### Page web du matériel pédagogique:

- <https://www.servirglobal.net/training-materials/search?country=NaN&themes=&pageIndex=1&pageSize=6>

## 19.5. EO LEARN

En anglais.

Série de tutoriaux pour apprendre les techniques d’analyses des données d’observation de la terre. Cependant certaines leçons semblent dater, elles se focalisent surtout sur l’utilisation du **logiciel BILKO** et elles se limitent parfois à **retaper un code préétabli**.

- <https://www.learn-eo.org/>

Basé essentiellement sur le logiciel BILKO (UNESCO)

- [www.bilko.org](http://www.bilko.org)

## 19.6. Pôle THEIA

Des **supports pédagogiques** disponibles en ligne sont recensés par le pôle Theia pour les personnes qui souhaitent se former ou former à la télédétection et à ses applications.

- <https://www.theia-land.fr/supports-pedagogiques/>

## 19.7. Newcomers Earth Observation Guide

- <https://business.esa.int/newcomers-earth-observation-guide>

The aim of this guide is to help non-experts in providing a starting point in the decision process for selecting an appropriate Earth Observation (EO) solution.

## 19.8. Eduspace (ESA)

- [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_FR/index.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_FR/index.html)
- Pour le secondaire

## 19.9. “From GIS to Remote Sensing”

Ce blog, créé par Luca Congedo, est le site de référence lié au **plugin QGIS « Semi-Automatic Classification Plugin » (SCP)** et contient une série importante de **tutoriaux liés à la classification supervisée** d’images satellites avec ce plugin.

- <https://fromgistors.blogspot.com/>

## 20. Newsletters auxquelles s'abonner

Pour rester informé des dernières nouveautés dans le domaine de la télédétection, vous pouvez vous inscrire aux newsletters suivantes :

- **Sentinel Hub Newsletter**
  - En lien avec le Sentinel Hub, EO Browser et les données COPERNICUS
  - <https://www.sentinel-hub.com/faq/#how-can-i-stay-updated-and-subscribe-your-newsletter>
- **Theia**
  - Actualités autour de la télédétection par le pôle français Theia.
  - <https://www.theia-land.fr/category/theia/lettre-dinfo/> (lettre d'information semestrielle)
  - [https://mailchi.mp/teledetection.fr/pole\\_theia\\_inscription](https://mailchi.mp/teledetection.fr/pole_theia_inscription) (bulletin d'information semestriel)
- **NASA - Applied Remote Sensing Training (ARSET)**
  - Cours de télédétection en ligne
  - <https://arset.gsfc.nasa.gov/>
  - S'abonner ici: <https://lists.nasa.gov/mailman/listinfo/arset>
- **DIGITAL EARTH AFRICA**
  - Accès à certaines données satellites sur l'Afrique
  - <https://www.digitalearthafrika.org/news>
  - Besoin de s'inscrire en bas de page
- **PLANET**
  - Images satellites à très hautes résolution, fréquentes, couverture mondiale, partiellement gratuites
  - <https://www.planet.com/>
  - Besoin de se créer un compte
- **Actualités de la communauté géomatique en Wallonie (région de Belgique)**
  - Newsletter du Géoportail wallon et de la communauté géomatique wallonne (spécifique à cette région de Belgique)
  - <https://geoportail.wallonie.be/newsletter>
- **Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures**
  - <https://disasterscharter.org/web/guest/news>

## 21. Quelques logiciels de télédétection spatiale

Nom	Prix	Site web
<b>Télédétection</b>		
SNAP	Gratuit	<a href="https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/">https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/</a> Logiciel de l'ESA pour les images « Sentinel » et +
ENVI	Payant	<a href="http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVI/ENVI.aspx">http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVI/ENVI.aspx</a>
IDRISI	Payant	<a href="http://www.clarklabs.org/products/idrisi.cfm">http://www.clarklabs.org/products/idrisi.cfm</a>
ERDAS	Payant	<a href="http://geospatial.intergraph.com/products/ERDAS-IMAGINE/Details.aspx">http://geospatial.intergraph.com/products/ERDAS-IMAGINE/Details.aspx</a>
QGIS	Gratuit	<a href="http://www.qgis.org/fr/site/">http://www.qgis.org/fr/site/</a> Via des extensions de Quantum GIS : GDAL/OGR, GRASS, SAGA, etc.
R	Gratuit	<a href="http://www.r-project.org/">http://www.r-project.org/</a> Via des packages dédiés aux rasters : raster, rgdal, maptools, etc
RSTUDIO	Gratuit	<a href="https://rstudio.com/">https://rstudio.com/</a> Interface pratique pour utiliser R
Google Earth Engine (GEE)	Gratuit	<a href="https://earthengine.google.org/">https://earthengine.google.org/</a> Application cloud puissante idéale pour travailler sur de très grandes quantités de données
<b>SIG</b>		
ArcGIS	Payant	<a href="http://www.arcgis.com/features/">http://www.arcgis.com/features/</a>
QGIS	Gratuit	<a href="http://www.qgis.org/fr/site/">http://www.qgis.org/fr/site/</a>
<b>Pour travailler spécifiquement sur des séries temporelles d'images</b>		
TIMESAT	Gratuit	<a href="http://www.nateko.lu.se/TIMESAT/timesat.asp">http://www.nateko.lu.se/TIMESAT/timesat.asp</a>
SPIRITS	Gratuit	<a href="https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/download.php">https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/download.php</a>
VGT EXTRACT	Gratuit	<a href="http://www.devcoast.eu/VGTExtract.do">http://www.devcoast.eu/VGTExtract.do</a>
<b>Pour travailler sur des données hyperspectrales ponctuelles</b>		
ViewSpec Pro	Gratuit	<a href="http://support.asdi.com/Products/Products.aspx">http://support.asdi.com/Products/Products.aspx</a>

## 22. Liste de logiciels utilisés dans ce manuel

- **QGIS 3.10.0 ou version ultérieure**
  - <https://qgis.org/en/site/>
  - Dont les plugins/extensions suivant :
    - « Semi-Automatic Classification Plugin » (SCP)
  
- **GOOGLE EARTH PRO**
  - [https://www.google.be/intl/fr\\_ALL/earth/versions/#earth-pro](https://www.google.be/intl/fr_ALL/earth/versions/#earth-pro)
  
- **GOOGLE EARTH ENGINE**
  - <https://earthengine.google.com/>
  - Besoin de se créer un compte Google
  - Pas besoin d'installer quoi que ce soit : application dans le cloud
  
- **SPIRITS + JAVA:**
  - <https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/download.php#box5>
  - SPIRITS ne doit pas être installé en tant que telle mais "déposé" et « décompressé » sur l'ordinateur
  - SPIRITS nécessite que JAVA soit installé : « Spirits requires a Microsoft Windows system with a Java 7 Runtime Environment (JRE 1.7) or higher properly installed. » (source : manuel officiel de SPIRITS)
    - <https://www.java.com/fr/download/>
    - Remarque : SPIRITS démarre via « javaw.exe » (localisé par exemple dans « C:\Program Files\Java\jre1.8.0\_171\bin\javaw.exe »)
  
- **R + Rstudio**
  - <https://www.rstudio.com/>
  - <https://www.r-project.org/>
  
- **SNAP 7 (ESA)**
  - <https://step.esa.int/main/download/snap-download/>
  - --> voir le tableau et la ligne "All Toolboxes"
  - Faire les mises à jour des plugins après installation