

Tutoriel – Evaluation du dépérissement des châtaigneraies du Vallespir à l'aide du plugin SCP sur QGIS

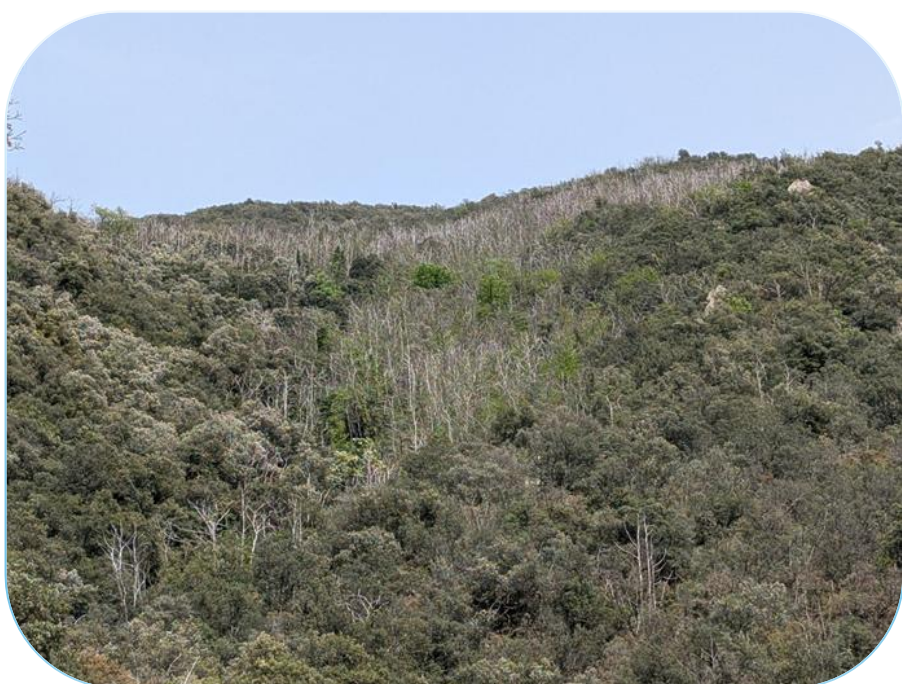


Table des matières

Tutoriel – Evaluation du dépérissement des châtaigneraies du Vallespir à l'aide du plugin SCP sur QGIS	1
Introduction	3
1) Données à télécharger	4
2) Traitements des tuiles téléchargées.....	12
3) Calcul des indices de télédétection	15
4) Classification supervisée et sélection des zones.....	17
5) Pour finir	22
ANNEXES	23
Annexe 1 : Bandes spectrales de Sentinel – 2 MSI	23
Annexe 2 : Formules de calcul des indices de télédétection	23
Bibliographie et liens utiles	24

Introduction

Ce tutoriel détaille pas à pas l'utilisation du plug in Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), développé par Luca Congedo sur Qgis®, dans l'objectif de classer des zones de châtaigneraies en fonction de leur état de dépérissement.

Ce tutoriel s'inscrit dans le cadre du stage sur l'évaluation du dépérissement de la châtaigneraie du Vallespir, qui a été financé par la Région Occitanie au travers du Défi-Clé O3T et co-encadré par le CIHEAM (Centre International des Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes) de Montpellier et le Pays Pyrénées Méditerranée.

Ce tutoriel s'adresse aux acteurs du territoire déjà formés à l'utilisation de Qgis® et qui ne connaissent pas les outils de télédétection. Cependant, chaque étape est suffisamment détaillée pour le rendre accessible à tout utilisateur novice.

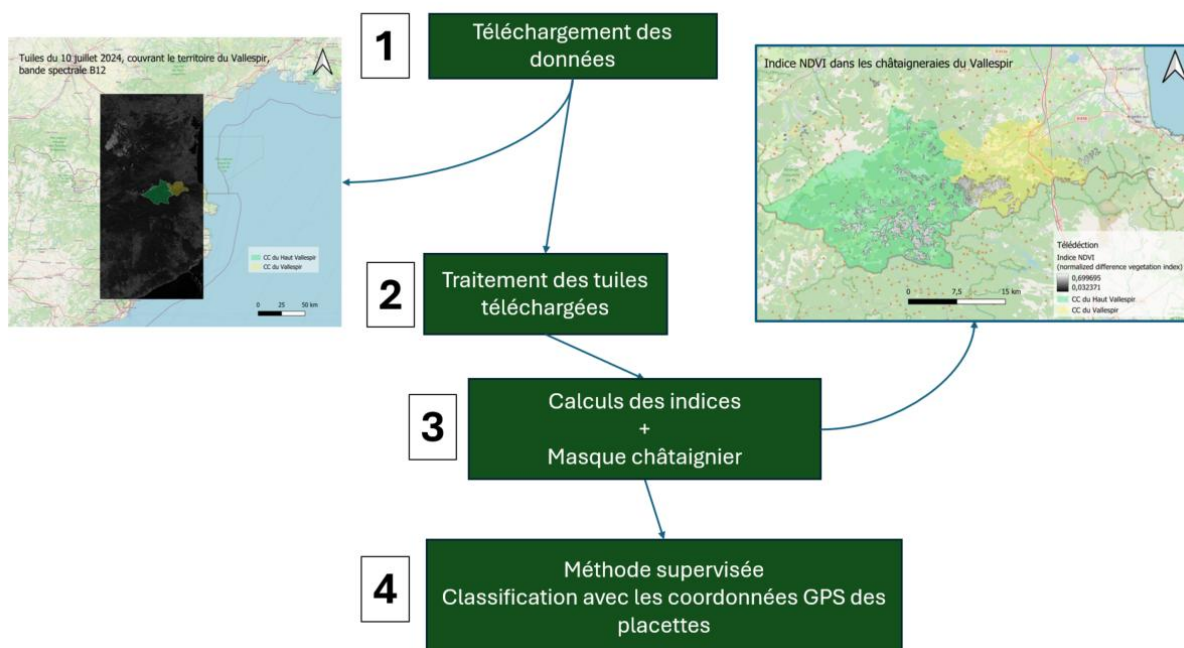
Il a été nécessaire de récolter des données de terrain afin de pouvoir calibrer le modèle. Les châtaigneraies ont été observées et notées à l'aide de la méthode DEPERIS. Ces données ont servi de calibration pour la classification par méthode supervisée.

Trois classes de dépérissement des arbres ont été définies :

- Faiblement dépérissant (de 0 à 50 % de dépérissement)
- Moyennement dépérissant (de 50 à 75 % de dépérissement)
- Fortement dépérissant (de 75 à 100 % de dépérissement)

Pour plus de renseignements ou pour répondre à un questionnaire vous pouvez contacter l'animatrice de la Charte Forestière de Territoire du Pays Pyrénées Méditerranée sur le mail suivant : cft@payspyreneesmediterranee.org.

Schéma simplifié des étapes de réalisation pour la télédétection



Résumé des étapes :

- 1) Téléchargement des données dans le Plug-In SCP de Qgis®
 - Sélectionner des tuiles aux dates estivales (durant la feuillaison)
 - Sélectionner des tuiles avec un faible taux d'enneuagement (-de 10 %)
 - Sélectionner des tuiles avec un traitement atmosphérique L2A
 - Sélectionner les bandes spectrales nécessaires pour le calcul des indices
- 2) Traitement des tuiles téléchargées
 - Fusionner les tuiles si nécessaires (ici par exemple deux tuiles (T31TDG et T31TDH) sont nécessaires pour représenter le territoire)
 - Exporter les bandes et changer le SCR : toujours en Lambert 93
 - Masquer les bandes spectrales avec la BD forêt châtaignier
- 3) Calculs des indices de télédétection
 - Utiliser la calculatrice raster pour entrer les formules de calculs sur les indices
 - Masquer les résultats avec la couche BD Forêt châtaignier
- 4) Classification supervisée et sélection des zones
 - Créer des classes dans un fichier d'entraînement et enregistrer ce fichier
 - Utiliser l'outil « create a ROI polygone » depuis le plug in SCP pour sélectionner les zones selon les classes « faiblement dépérissant à très dépérissant » à partir des points GPS disposés sur la carte (données terrains, qui seront les données d'entraînement)
 - Enregistrer chaque polygone classe par classe (au moins 3 polygones par classe)
 - Une fois les classes réalisées, utiliser l'outil classification dans l'onglet traitement de bande
 - L'algorithme permettant de classifier au mieux est « au plus proche voisin » utilisant les distances euclidiennes et ayant montré de bons résultats

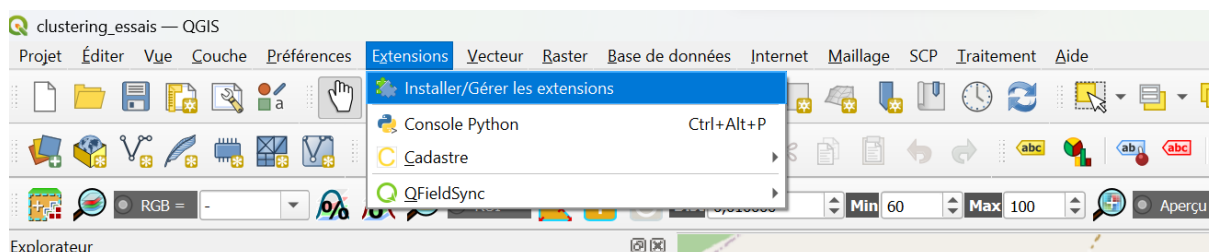
1) Données à télécharger

Rappel pour télécharger Qgis :

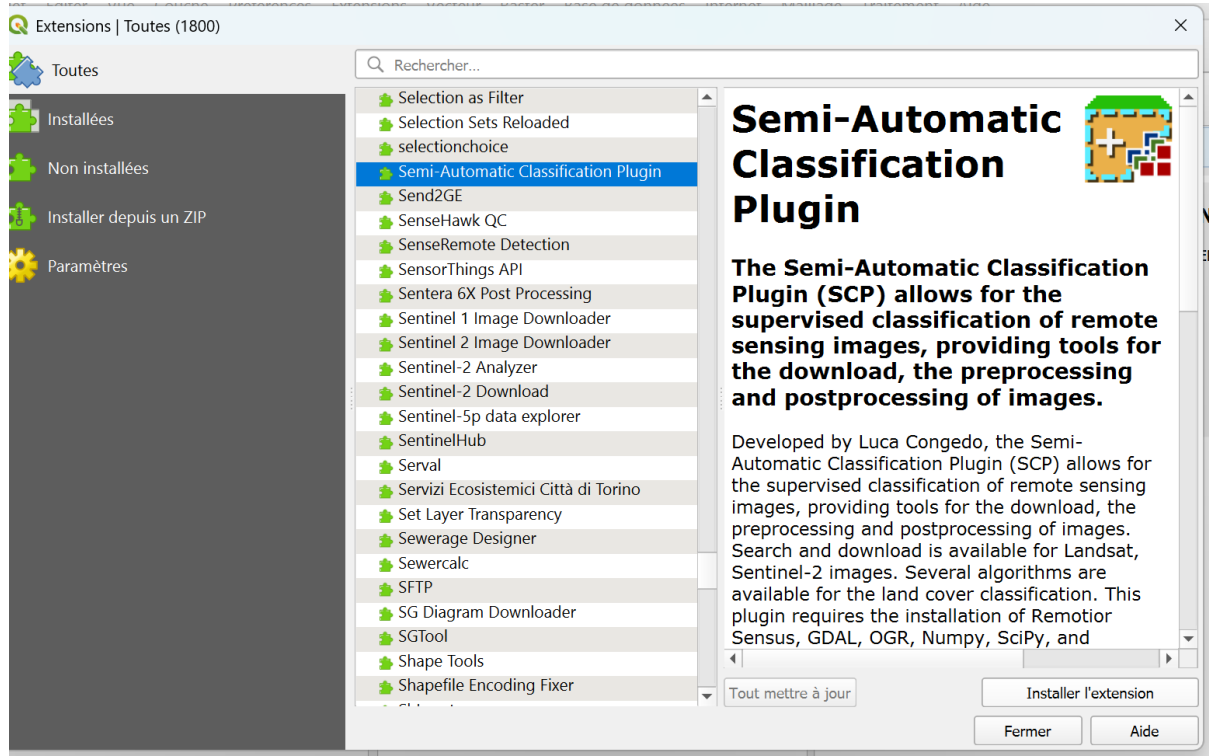
Se rendre sur le site : <https://qgis.org/download/> et télécharger la version LTR (Long Term Version) soit actuellement la version 3.40

a-Téléchargement du « Semi-Automatic Classification Plugin »

Dans un premier temps, il faut télécharger le plug in « Semi-Automatic Classification Plugin » (SCP) dans Extensions > Installer/Gérer les extensions.



Sélectionnez « Semi-Automatic Classification Plugin » et cliquez sur « Installer l'extension ».



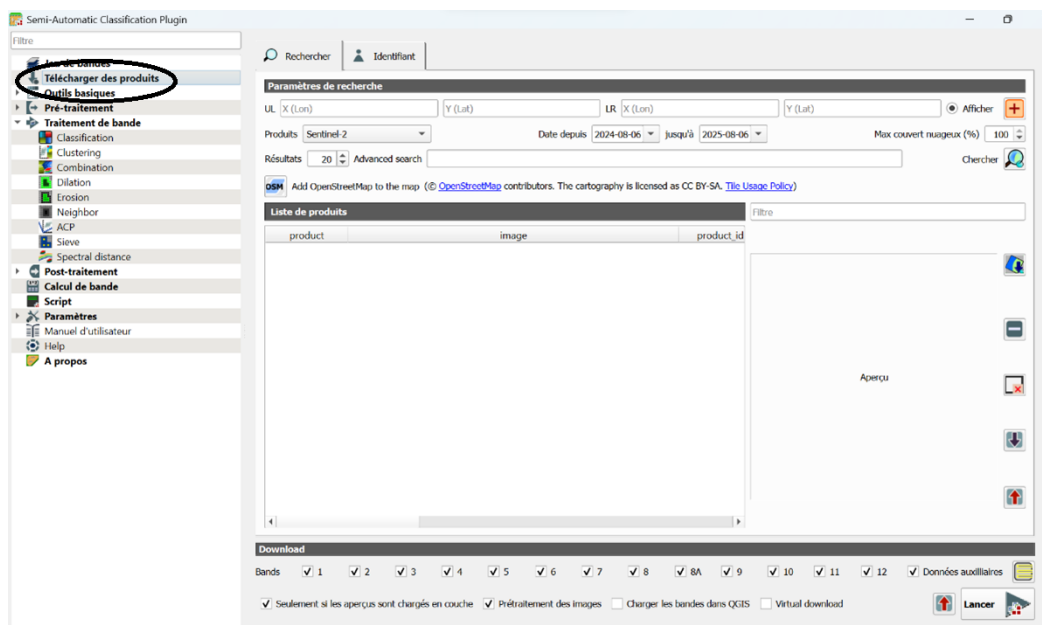
b-Téléchargement des tuiles

Si vous n'avez pas encore de fonds de carte, vous pouvez récupérer celui d'OpenStreetMap en sélectionnant dans l'Explorateur dans « Tuiles XYZ > OpenStreetMap ».

Rendez-vous ensuite dans l'onglet SCP de Qgis[®] et ouvrez la fenêtre.

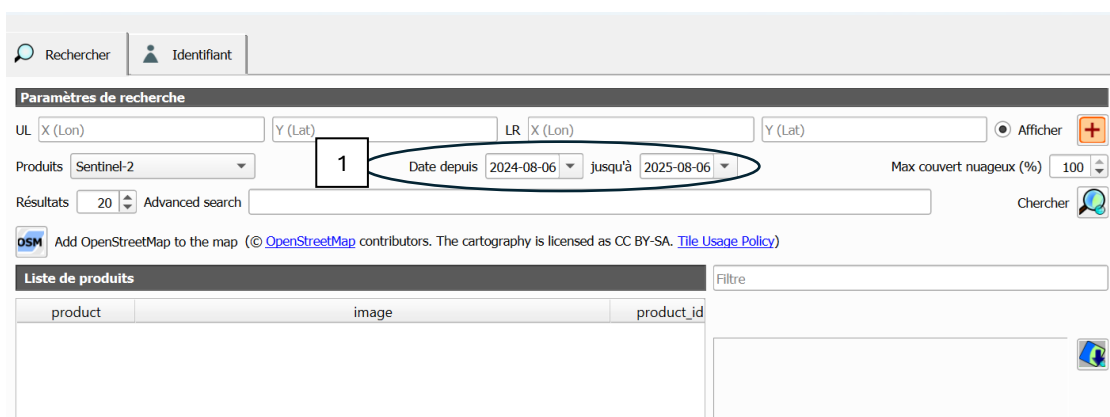


Une fois la fenêtre ouverte, cliquez sur l'onglet « Télécharger des produits ».



Dans l'onglet « Télécharger des produits », il y a une barre de recherche permettant de sélectionner :

- une échelle de temps (1)
- la couverture nuageuse (2)
- En bas de la page, il est possible de sélectionner les bandes spectrales d'intérêt, il suffit de cocher/décocher les bandes qui nous intéressent.
- Ensuite il faut sélectionner (3) la zone d'étude directement sur la carte avec le bouton + qui permet, en faisant des clics droits, de sélectionner la zone exacte de l'étude.



Rechercher Identifiant

Paramètres de recherche

UL X (Lon) Y (Lat) LR X (Lon) Y (Lat) 3

Produits Sentinel-2 Date depuis 2024-08-06 Jusqu'à 2025-08-06 2 Max couvert nuageux (%) 100

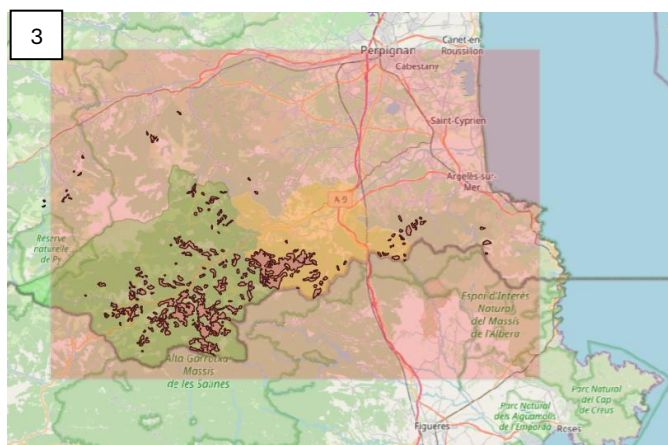
Résultats 20 Advanced search Chercher

OSM Add OpenStreetMap to the map (© OpenStreetMap contributors. The cartography is licensed as CC BY-SA. [Tile Usage Policy](#))

Liste de produits

product	image	product_id

Il faut veiller à sélectionner les tuiles permettant de visualiser au mieux les informations :



- 1) Sélectionnez des tuiles aux dates estivales (durant la feuillaison)
- 2) Sélectionnez des tuiles avec un faible taux d'ennuage (-de 10 %)
- 3) Sélectionnez le territoire : -cliquez sur le bouton + qui permettra de sélectionner l'emprise sur le fond cartographique (pour cela, retournez sur le fond cartographique QGIS et sélectionnez la zone d'étude avec clic gauche pour l'extrémité nord-ouest de l'emprise et clic droit pour l'extrémité sud est) puis -cliquez sur le bouton « Chercher ». Deux tuiles sont nécessaires pour

représenter l'ensemble du Vallespir (attention à choisir de préférence des tuiles à des dates similaires)

- 4) Sélectionnez des tuiles avec un traitement atmosphérique L2A dans la liste de produits avec ctrl+clic gauche. Exemple de sélection de deux tuiles dans la Liste de Produits :

Liste de produits						
	product	image	product_id	acquisition_date	cloud_cover	zone
2	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A048625_20241013T104111	S2A_MSIL2A_20241013T1...	2024-10-13	6	31TDG
3	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A049197_20241122T104435	S2A_MSIL2A_20241122T1...	2024-11-22	9	31TDG
4	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A027776_20220701T103715	S2B_MSIL2A_20220701T1...	2022-07-01	9	31TDG
5	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A027819_20220704T105903	S2B_MSIL2A_20220704T1...	2022-07-04	0	31TDG
6	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A039502_20240928T103825	S2B_MSIL2A_20240928T1...	2024-09-28	0	31TDG
7	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A040217_20241117T104228	S2B_MSIL2A_20241117T1...	2024-11-17	7	31TDG
8	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A040360_20241127T104745	S2B_MSIL2A_20241127T1...	2024-11-27	4	31TDG
9	Sentinel-2	L2A_T31TDH_A049097_20241115T105441	S2A_MSIL2A_20241115T1...	2024-11-15	3	31TDH



- 5) Prévisualisez les tuiles en cliquant sur et choisissez deux tuiles qui ne présentent pas de défauts pouvant empêcher l'extraction des résultats (nuages sur une zone de châtaignier, image défectueuse ou partie manquante).
- 6) Sélectionnez ces deux tuiles dans la liste de produits avec clic gauche +ctrl puis les bandes spectrales nécessaires pour le calcul des indices (bandes 2,3,4,5,6,7,8,11,12 et Données auxiliaires), cochez « Charger les bandes dans QGIS » et cliquez sur « Lancer ».

4

Liste de produits		
product	image	pr
19	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A027776_20220701T103715
20	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A027819_20220704T105903
21	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A039502_20240928T103825
22	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A040217_20241117T104228
23	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A040360_20241127T104745
24	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A048196_20240913T103837
25	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A048625_20241013T104111
26	Sentinel-2	L2A_T31TDG_A049197_20241122T104435
27	Sentinel-2	L2A_T31TDH_A027776_20220701T103715
28	Sentinel-2	L2A_T31TDH_A040360_20241127T104745
29	Sentinel-2	L2A_T31TDH_A049097_20241115T105441
30	Sentinel-2	L2A_T31TEG_A027776_20220701T103715
31	Sentinel-2	L2A_T31TEH_A027776_20220701T103715

Filtre

5

Download

☐ 1 ☒ 2 ☒ 3 ☒ 4 ☒ 5 ☒ 6 ☒ 7 ☒ 8 ☒ 8A ☐ 9 ☐ 10 ☒ 11 ☒ 12 ☒ Données auxiliaires

☒ Seulement si les aperçus sont chargés en couche ☒ Prétraitement des images ☐ Charger les bandes dans QGIS ☐ Virtual download

Lancer

6

La liste des produits devrait être composé du traitement L2A suivi du numéro de la tuile, du code de l'image et de la date à laquelle la tuile a été récupérée.

Les tuiles doivent être chargées bande par bande sous format Raster dans Qgis[®]. Les bandes spectrales B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8A, B11, B12 seront utilisées pour calculer des indices de télédétection, afin de mettre en avant la végétation, l'humidité et d'autres facteurs. Les valeurs de réflectances sont liées à des bandes qui possèdent chacune des longueurs d'ondes spécifiques (Annexe 1).

c- Téléchargement de la BD Forêt V2 Châtaignier

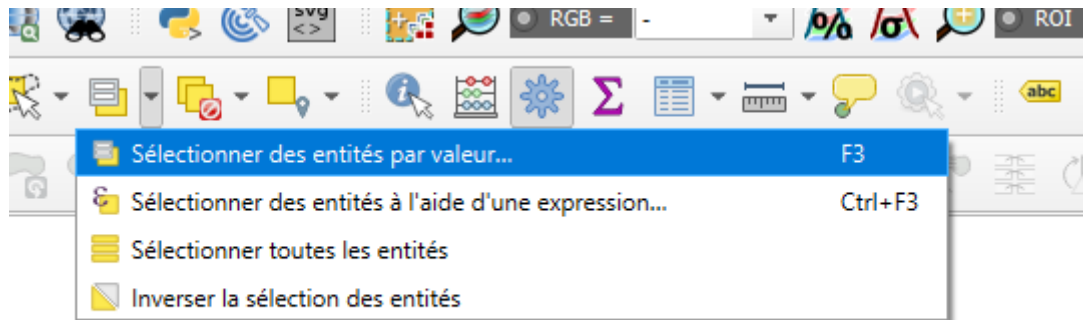
Pour la suite, nous aurons besoin de la couche « Châtaignier » de la BD Forêt V2 de l'IGN.

Si vous avez déjà la couche « Châtaignier » de la BD Forêt V2 sur votre territoire, alors allez directement à l'étape 2) Traitement des tuiles... page 12.

Si vous ne l'avez pas encore, vous pouvez aller la télécharger sur : <https://geoservices.ign.fr/bdforet>

Une fois les données téléchargées, dans le dossierBDFORET>1_DONNES_LIVRAISON , importez la couche « FORMATION_VEGTALE.shp ».

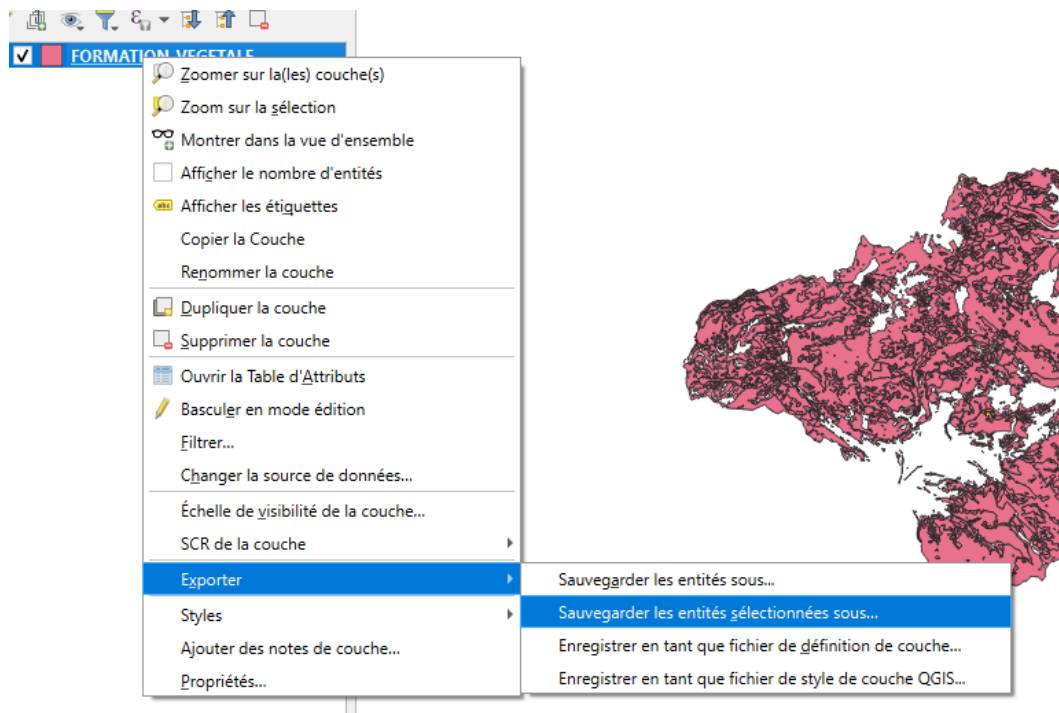
Sélectionnez cette couche et cliquez sur « Sélectionner des entités par valeur... »



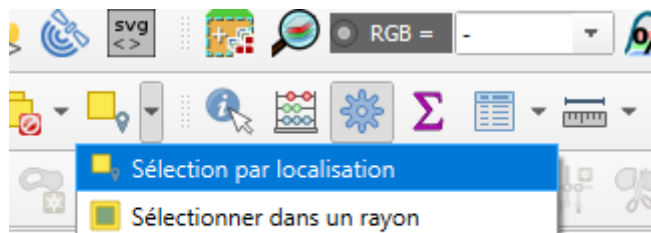
Une fenêtre s'ouvre, dans le champ « Essence », sélectionnez « Châtaignier » et cliquez sur « Sélection des entités ».

Ensuite, exportez ces entités en cliquant sur la couche
« FORMATION_VEGETALE »>Exporter>Sauvegardez les entités sélectionnées sous...

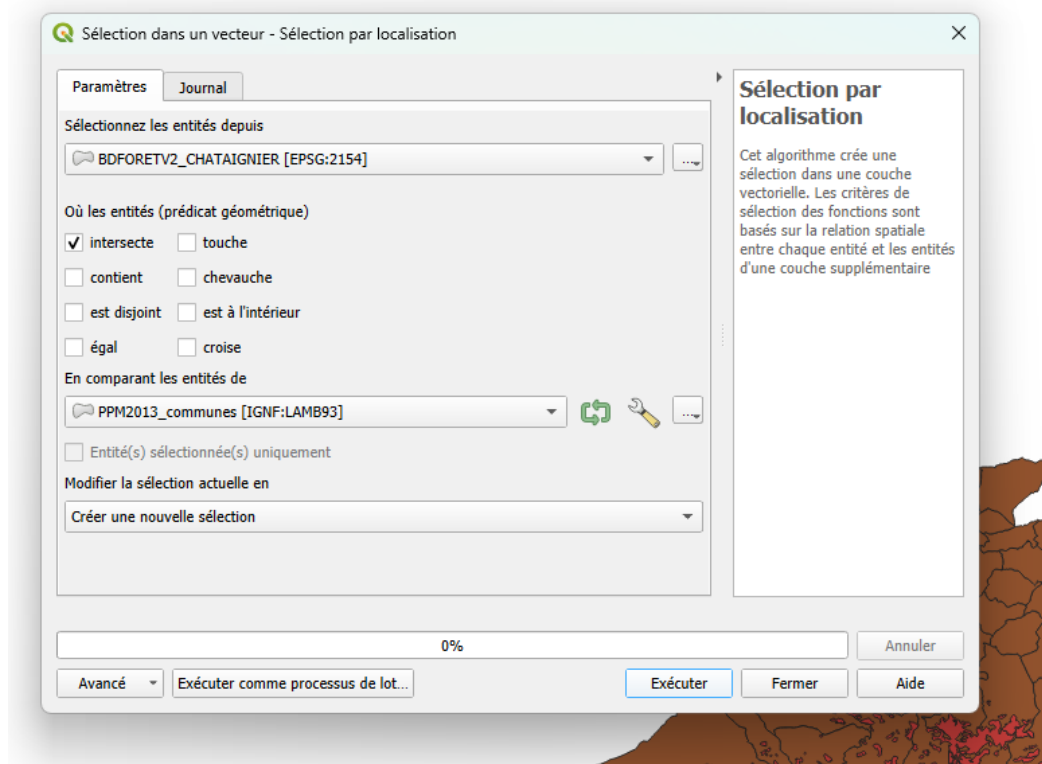
Vous pouvez alors nommer votre nouvelle couche « BDFORETV2_Chataignier »



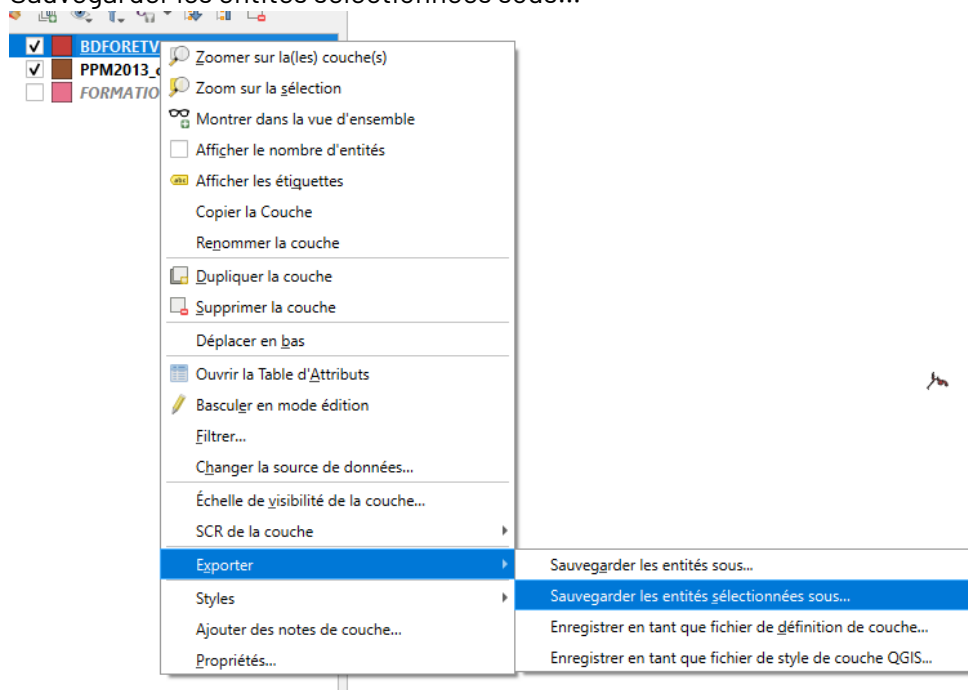
Si vous souhaitez ensuite restructurer la couche Châtaignier ainsi créée au périmètre de votre territoire, vous pouvez cliquer sur « Sélection par localisation »



Dans « Sélectionnez les entités depuis » choisissez votre couche nouvellement créée (ici BDFORETV2_CHATAIGNIER) et dans « En comparant les entités de », sélectionnez votre territoire d'études (ici la couche PPM2013_communes).



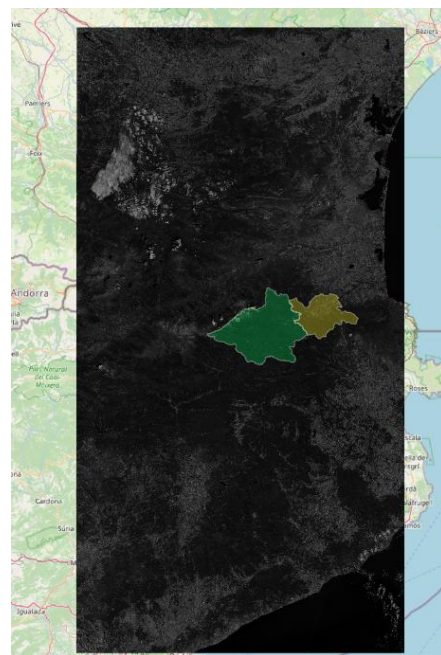
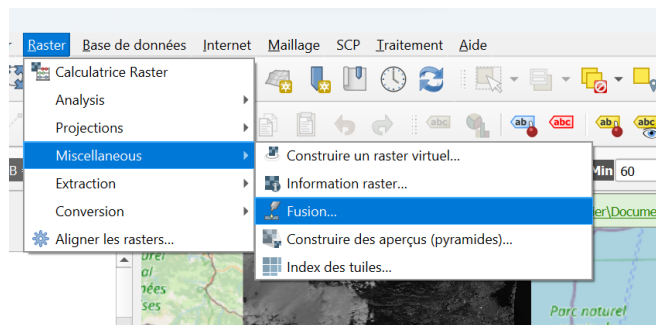
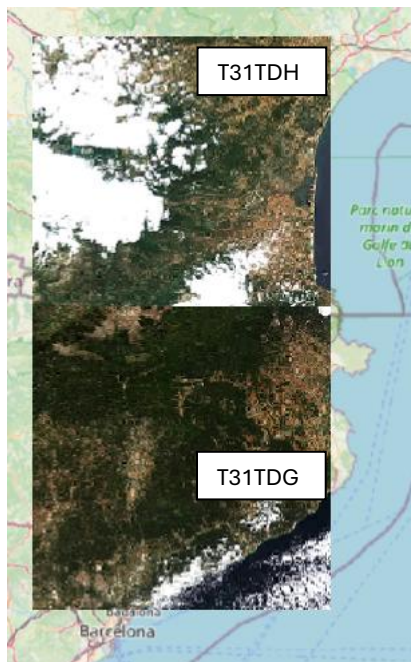
Enregistrez la couche ainsi créée avec : clic droit sur le nom de la couche>Exporter>Sauvegarder les entités sélectionnées sous...



Vous obtenez ainsi la couche comprenant toutes les chataigneraies de votre territoire d'étude.

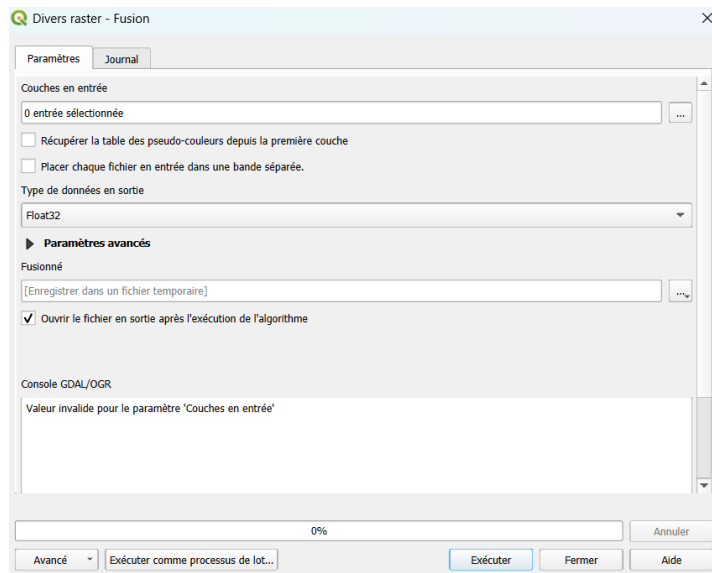
2) Traitements des tuiles téléchargées

Lorsque la zone d'étude est située à cheval entre plusieurs tuiles (ou images satellites), il est nécessaire de les fusionner (ici par exemple deux tuiles sont nécessaires pour représenter le territoire).

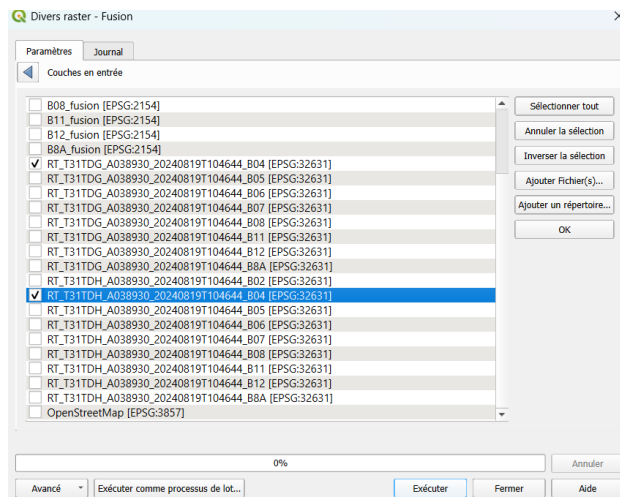


Pour fusionner les tuiles, cliquez sur Raster > Miscellaneous > Fusion... Une fois la fenêtre ouverte,

dans « Couches en entrée » cliquez sur .



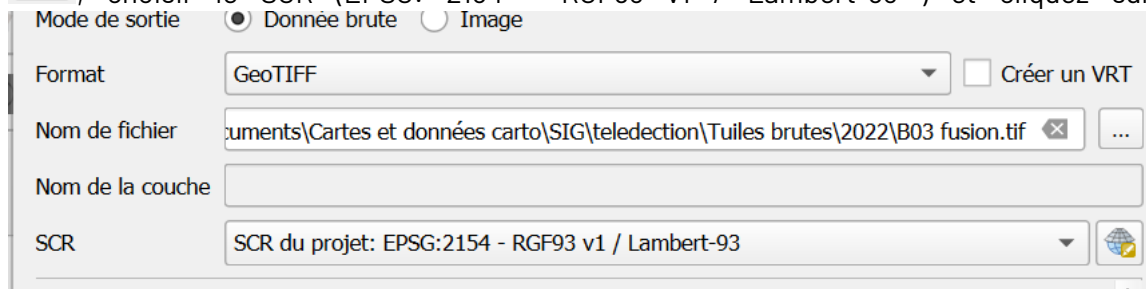
Ensuite, sélectionnez les couches en entrée puis cliquez sur « Exécuter ».



Exportez les couches raster des bandes spectrales et changer le SCR : EPSG: 2154 – RGF93 v1 / Lambert-93 (veillez à ce que l'ensemble des couches soient au même SCR et en Lambert 93).

Pour cela, cliquez droit sur la couche « Fusionné » puis sur Exporter>Enregistrer sous... Choisir le nom de cette nouvelle couche, l'emplacement où sera enregistré la couche raster en cliquant sur

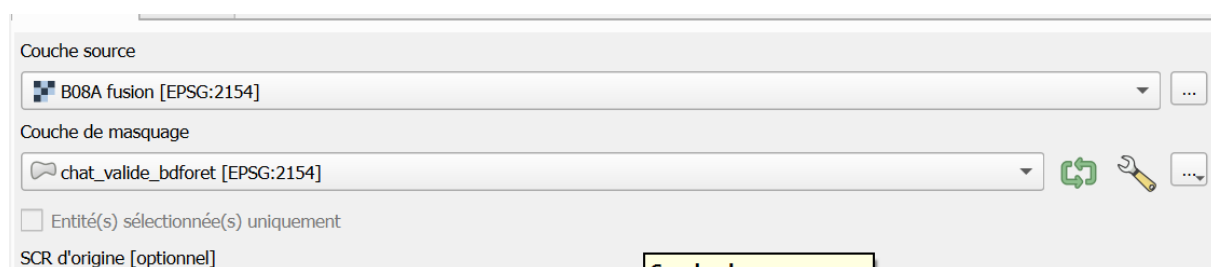
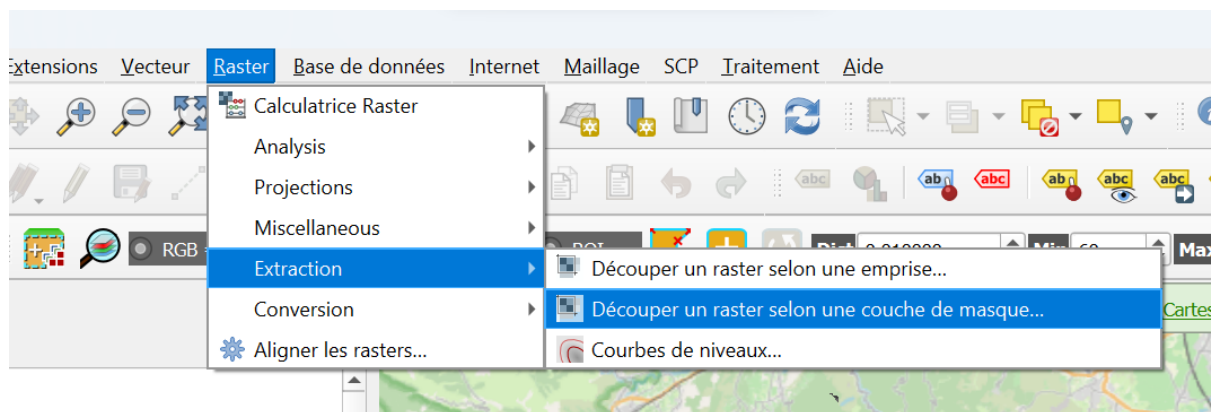
..., choisir le SCR (EPSG: 2154 – RGF93 v1 / Lambert-93) et cliquez sur OK.



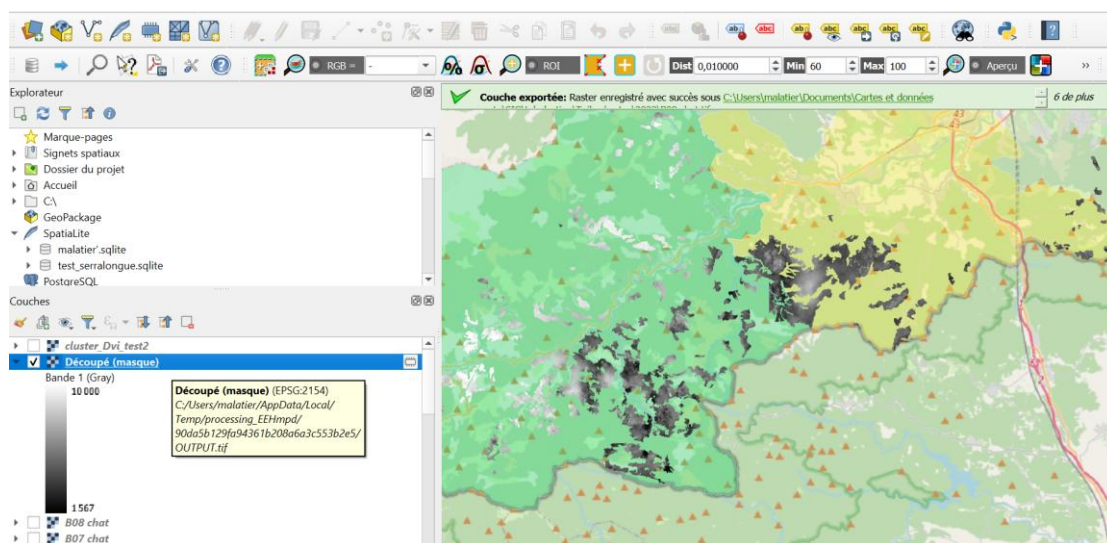
Répétez l'opération pour toutes les bandes.

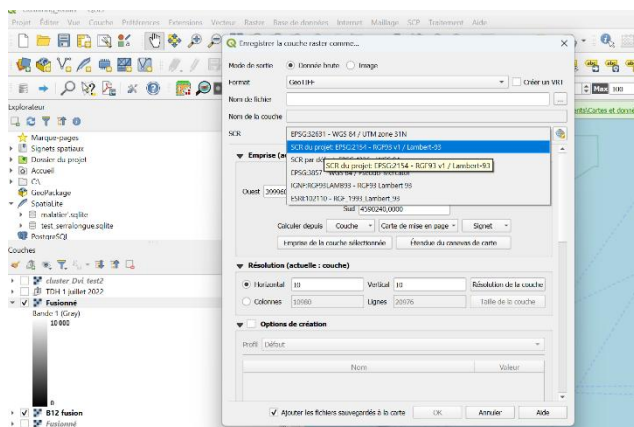
Ensuite, il faut découper les couches Raster selon une couche masque en vecteur (notre couche châtaignier de BD forêt). Remarque : parfois la couche BD Forêt Châtaignier comporte des erreurs, il faudra ainsi « vérifier la validité » de la couche depuis les outils de géométrie, depuis l'onglet Vecteur>Geometry Tools>Vérifier la validité.

Dans Raster>Extraction>Découper un raster selon une couche de masque... sélectionnez en couche source la couche fusionnée (ici B08A_fusion) et en couche de masquage la couche Châtaignier de BD Forêt.



Les résultats sont représentés ci-dessous.





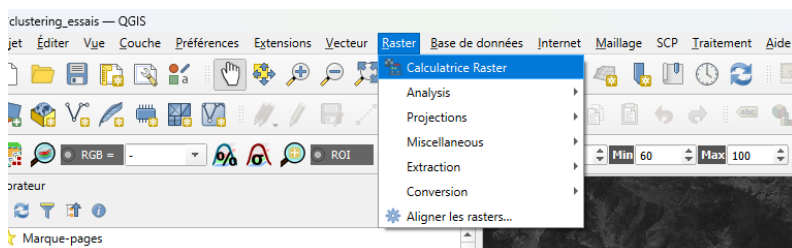
Les résultats sont ensuite enregistrés dans un fichier Raster éphémère qu'il convient d'exporter, toujours en Lambert 93.

Répéter l'opération pour l'ensemble des bandes spectrales.

Par la suite, il faut calculer l'ensemble des indices de télédétection (voir la liste et les formules en annexe 2).

3) Calcul des indices de télédétection

Dans l'outil « calculatrice raster », il faut entrer les formules spécifiques de chaque indice de télédétection.



Si l'on veut calculer le DVI par exemple, il suffit de diviser les couches raster entre elles, on peut cliquer depuis le panneau de droite « bandes raster » pour sélectionner la bande 8 et la bande 4 (qui ont été au préalable masquées avec la couche châtaignier de BD Forêt), puis en dessous sélectionner « / » pour diviser les bandes entre elles.

Dans le panneau de droite « Couche résultat » choisir le nom de la couche en sortie (ici DVI), le dossier cible en cliquant sur , laisser en format en sortie « GeoTIFF » et exporter la couche en cliquant sur « OK ».

Calculatrice Raster

Bandes raster

- B02_fusion@1
- B02_masque@1
- B03_fusion@1
- B03_masque@1
- B04_fusion@1
- B04_masque@1
- B05_fusion@1
- B05_masque@1
- B06_fusion@1
- B06_masque@1
- B07_fusion@1
- B07_masque@1
- B08A_masque@1
- B08_fusion@1
- B08_masque@1
- B11_fusion@1
- B11_masque@1
- B12_fusion@1
- B12_masque@1
- B8A_fusion@1
- Circeen@1

Couche résultat

☐ Créer un raster à la volée au lieu d'écrire la couche sur le disque.

Couche en sortie: DVI

Format en sortie: GeoTIFF

Étendue spatiale

Utiliser l'emprise de la couche sélectionnée

min X: 599641,01290 max X: 709791,49210

min Y: 6040232,92310 max Y: 6250454,87650

Résolution

Colonnes: 10988 Lignes: 20992

SCR en sortie: EPSG:2154 - RGF93 v1 / Lambert-93

☒ Ajouter le résultat au projet

Opérateurs

+	*	(	min	IF	cos	acos
-	/	)	max	AND	sin	asin
<	>	=	abs	OR	tan	atan
<=	>=	!=	^	sqrt	log10	ln

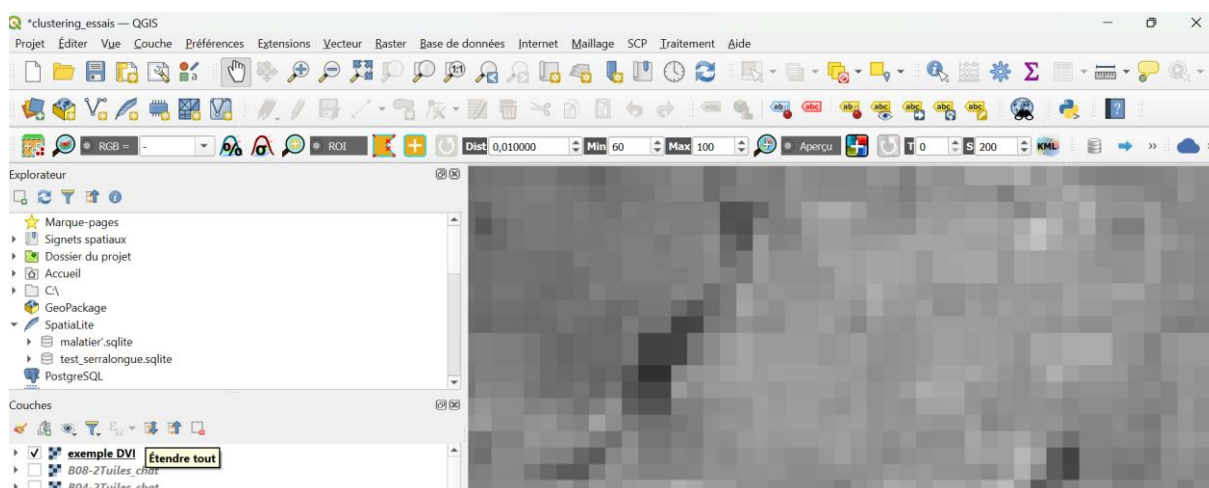
Expression de la calculatrice raster

"B08A_masque@1" / "B04_masque@1"

Expression valide

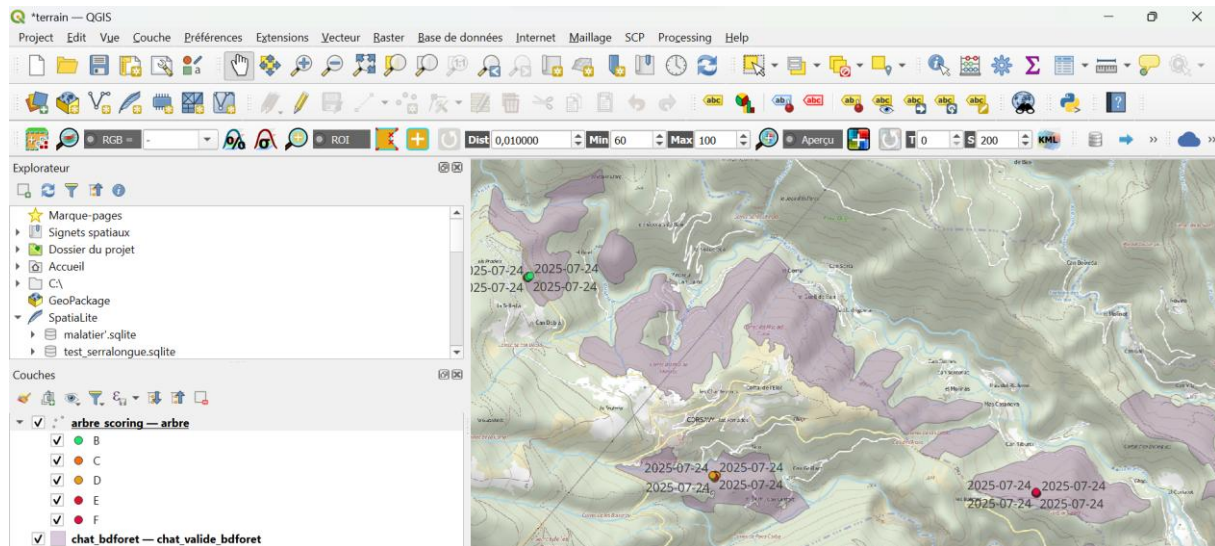
OK Annuler Aide

L'indice DVI doit donner une résolution spectrale de 10 m, soit représenter un carré au sol de 10 m par 10 m. Nous obtenons les résultats ci-dessous :

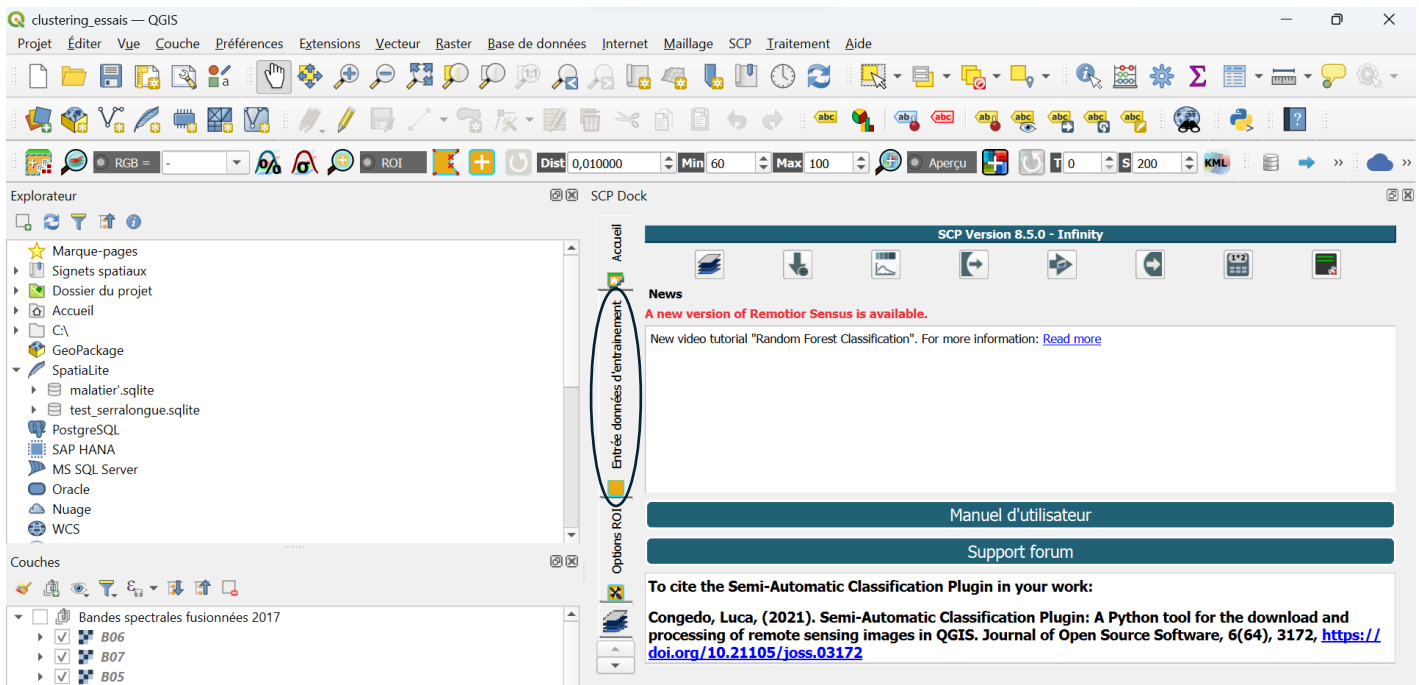


4) Classification supervisée et sélection des zones

Il faut ensuite ajouter à votre projet les données de calibrations (ici « arbre_scoring.. »), c'est-à-dire les zones de terrains identifiées de faiblement déperissantes à fortement déperissantes. Comme ci-dessous, où les arbres ont été notées sur des placettes situées autour de Corsavy.



Cliquer sur , la fenêtre « Semi-Automatic Classification Plugin » s'ouvrira mais il faut la fermer et aller dans l'onglet SCP Dock puis cliquez sur « Entrée données d'entraînement ».



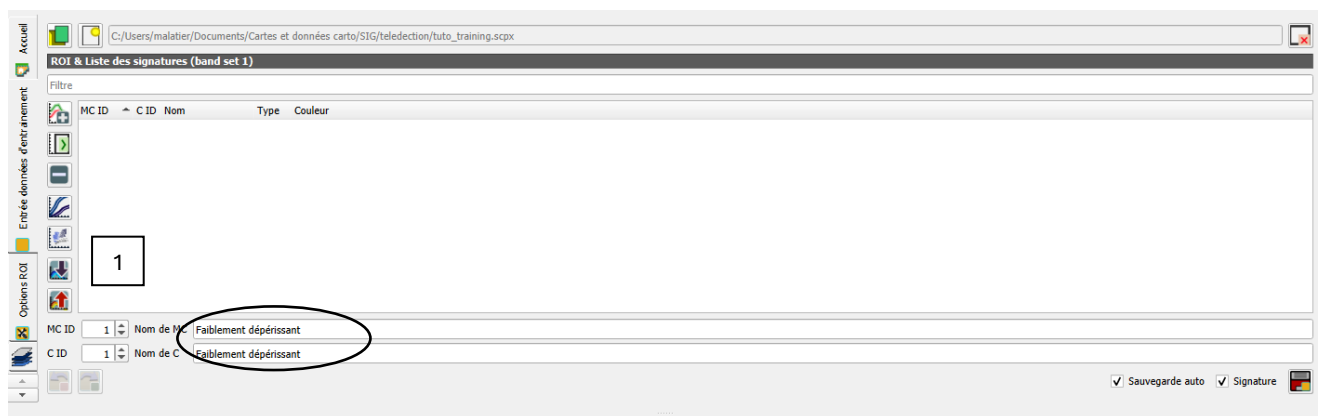
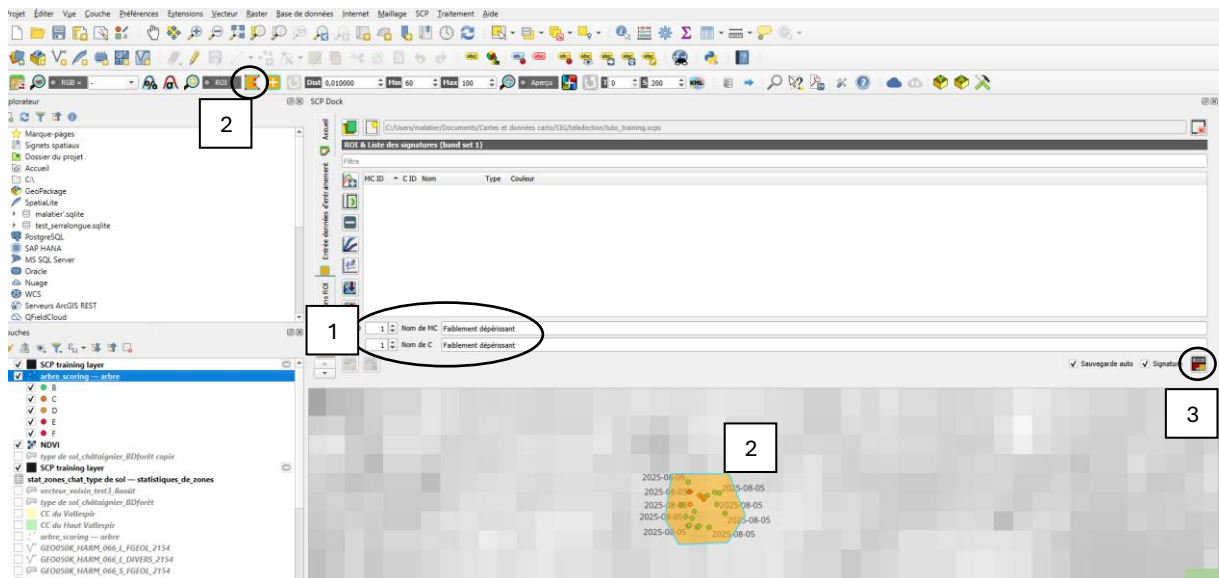
Créer la couche qui recevra les données d'entraînement en cliquant sur « Create a new training input », choisir le nom du fichier, son emplacement et cliquer sur « Enregistrer ».



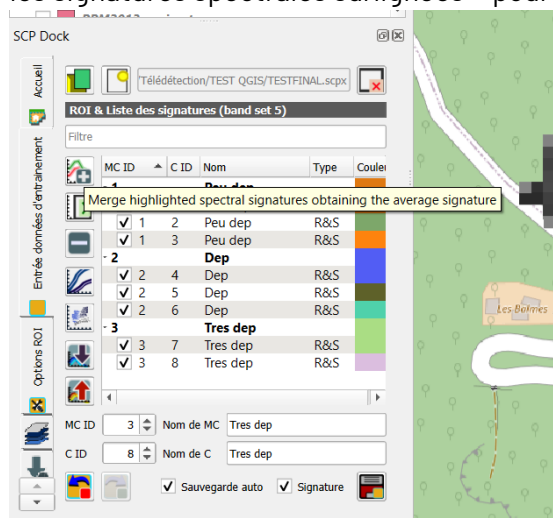
Pour chaque classe, il sera nécessaire de renseigner un nom, un numéro de macro classe (MC ID) et un numéro de classe (C ID)(1).

Pour calibrer chaque classe, sur l'interface SCP Dock, sélectionnez l'outil « Create a ROI polygone » (2), sélectionner au minimum 3 zones de calibration par classe. Veiller à bien changer de classe après avoir créé les polygones de chaque classe et les avoir enregistrés avec la disquette en bas à droite (3).

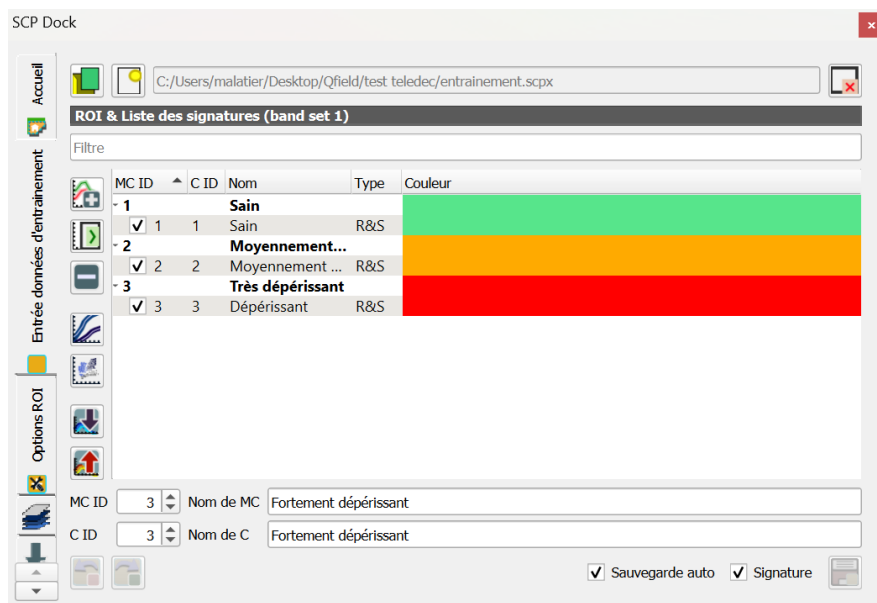
A noter : il faut sélectionner « Create a ROI polygone », puis appuyer sur clic gauche pour le créer et clic droit pour le fermer.



Lorsque que vous avez créé au moins 3 polygones par classe, vous devez cliquer sur « Fusionner les signatures spectrales surlignées » pour obtenir une signature spectrale moyenne par classe.



Une fois tous les polygones créés pour chaque classe, cela fait 3 classes : faiblement déperissant, moyennement déperissant, très déperissant.



Il est possible d'observer les signatures spectrales de chaque classe. Il faut au préalable sélectionner l'ensemble des classes et cliquer sur l'onglet « add hilighted signatures ... »

SCP Dock

Accueil

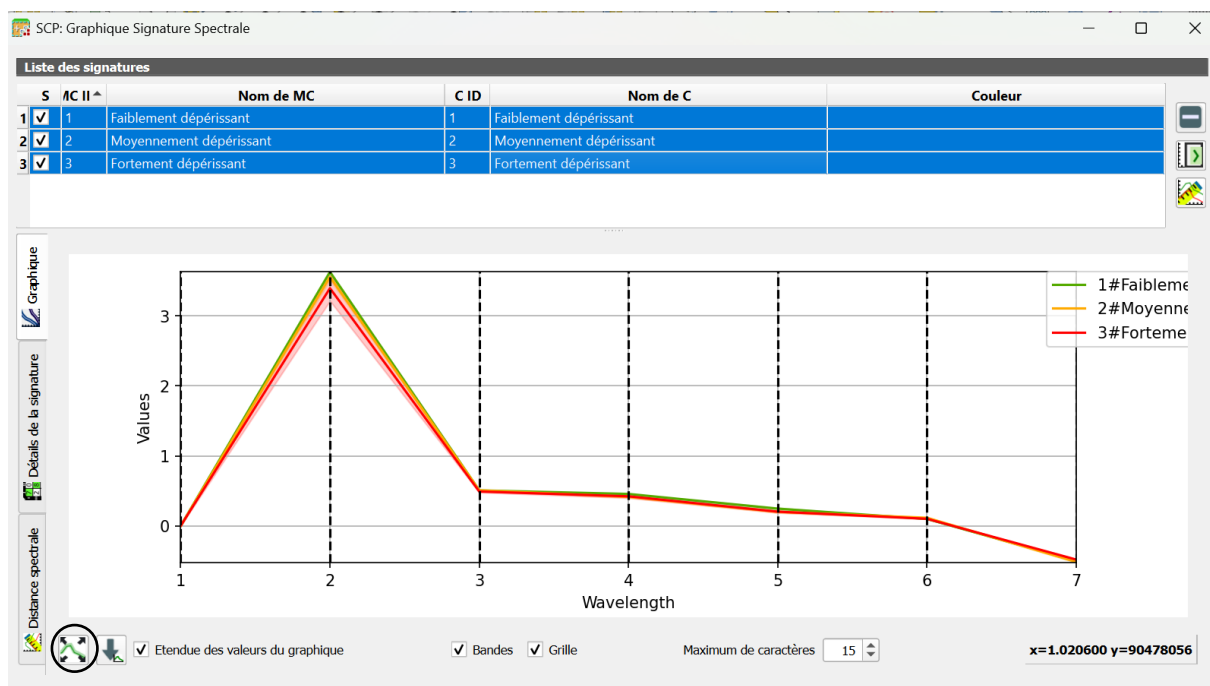
Entrée données d'entraînement

C:/Users/malatier/Desktop/Qfield/test teledec/train_8aout_test3.scp

ROI & Liste des signatures (band set 1)

Filtre

MC ID	C ID	Nom	Type	Couleur
1	1	Faiblement dé...	R&S	
2	2	Moyennement...	R&S	
3	3	Fortement dé...	R&S	



Dans l'onglet « SCP », cliquez sur « Jeu de bandes » et sélectionnez les indices de télédétection dans un même jeu de bande.

Semi-Automatic Classification Plugin

Filtre

Jeu de bandes

Télécharger des produits

Outils basiques

Pré-traitement

Traitement de bande

Post-traitement

Calcul de bande

Script

Détail du jeu de bande

Active band set 1

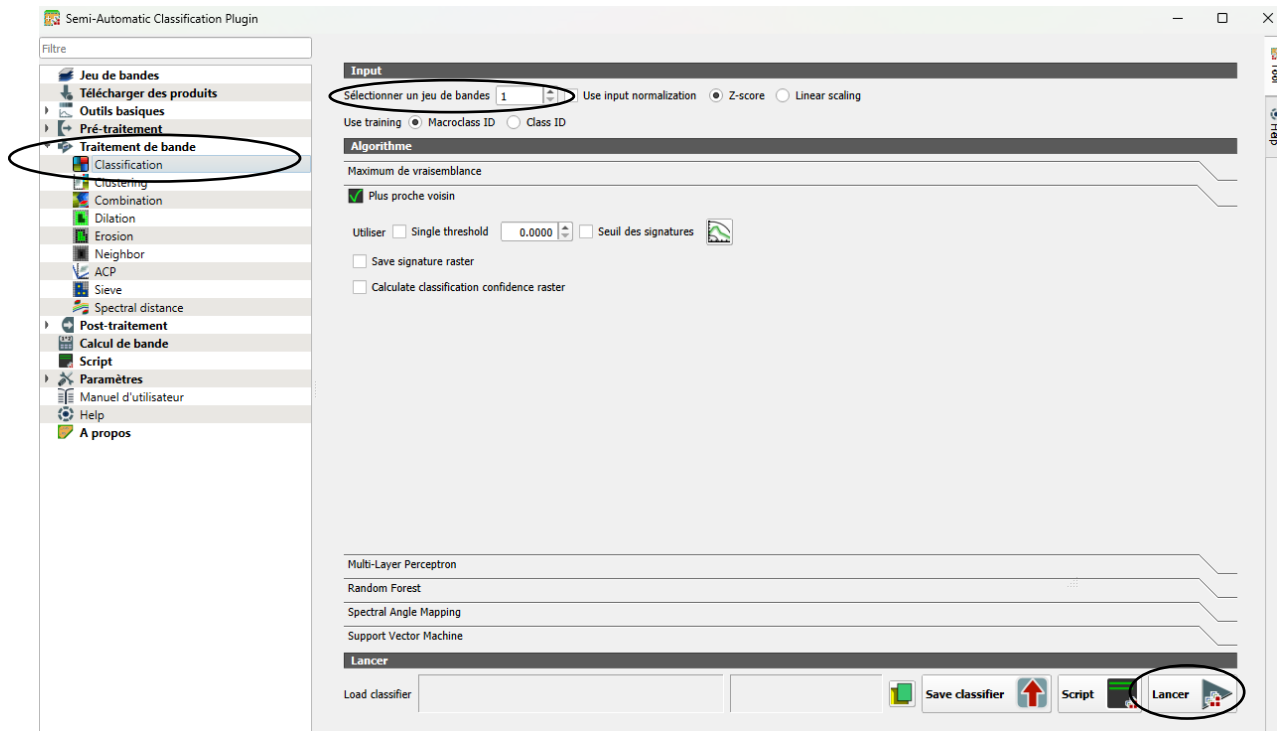
Date NaT

Band set table	Nom de bande
1 Cigreen_chat, Cri2, DVI...	1 Cigreen_chat
	2 Cri2
	3 DVI
	4 DVI2
	5 GNDVI_chat
	6 NBR_chat
	7 NDII_chat
	8 NDVIre2n
	9 NDWI_chat

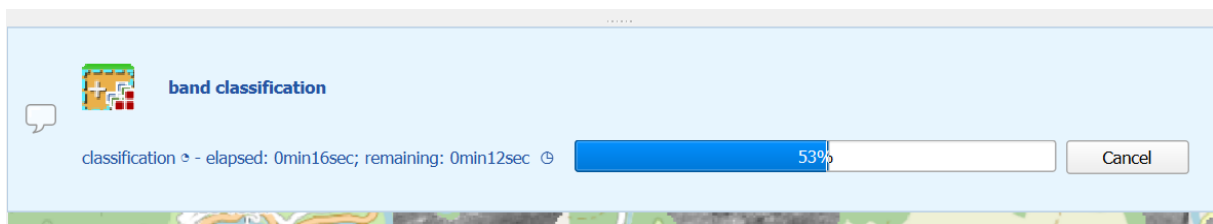
Toujours dans l'onglet « SCP », choisissez « Traitement de bande » puis « Classification » pour classer le modèle selon les macroclasses.

Sélectionnez l'algorithme « Plus proche voisin » qui permet de calculer à partir des distances euclidiennes les correspondances des pixels entre eux.

Veiller à bien sélectionner le jeu de bande correspondant aux indices préalablement calculés.

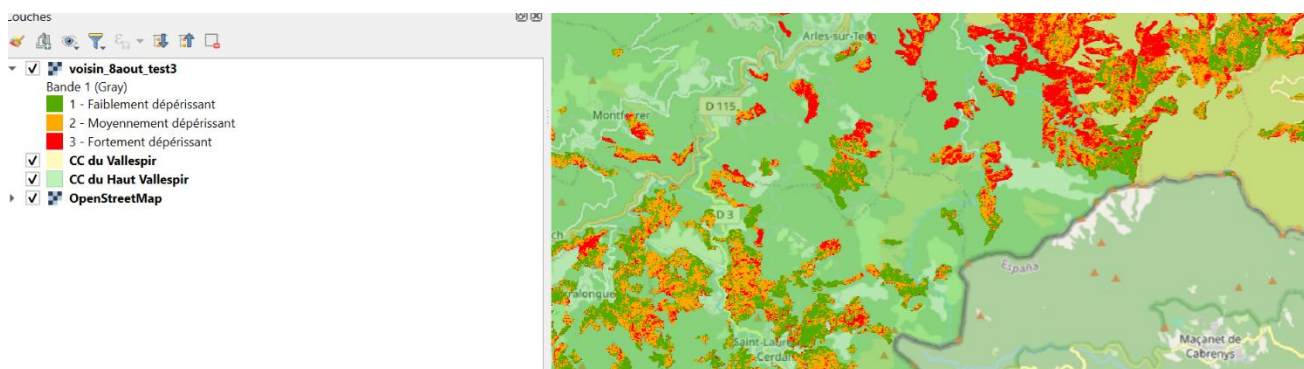


Pour finir, cliquez sur « Lancer », une fenêtre d'export s'ouvre, puis une fenêtre de chargement :



Il faut ensuite masquer la couche de classification avec la couche Châtaignier de BD Forêt, puis exporter le raster final de classification.

Vous devriez obtenir une couche comme celle-ci :



5) Pour finir

Une fois les résultats obtenus il faut faire attention à l'interprétation et garder à l'esprit que c'est un exercice qui peut comporter des biais importants.

Ici par exemple, toutes les zones apparaissant comme « Faiblement dépérissantes » sont des zones possédant une signature spectrale proche de celle de nos placettes de calibrations qui comportaient entre 0 et 50 % d'individus notés dépérissants sur le terrain (soit classés D,E ou F avec la notation DEPERIS). De même pour la classe « Moyennement dépérissant », les zones apparaissant en orange possèdent une signature spectrale proche des placettes de calibration sur lesquels 50 à 75% des arbres ont été notés comme dépérissants selon DEPERIS. Les zones « Fortement dépérissant » sont similaires aux placettes de calibration sur lesquelles plus de 75% des arbres étaient notés dépérissants sur le terrain.

Ainsi, plus une classe possèdera de placettes de calibrations, meilleure sera l'exactitude du classement final.

Il est également possible de comparer les données en créant plusieurs cartes sur plusieurs périodes (début de l'été/fin de l'été) ou sur plusieurs années (période estivale 2020 par rapport à 2025) par exemple.

Il serait intéressant de réaliser une matrice de confusion sur des données de validation. Les données de validation s'obtiennent en allant sur le terrain et en récupérant données par données l'ensemble des informations. La matrice de confusion est un tableau permettant de connaître les pixels bien classifiés par rapport aux pixels classifiés d'une autre catégorie.

Ici par exemple, le tableau ci-dessous montre dans la diagonale verte les pixels qui ont été bien classifiés.

		Observations validation			Totaux
		Rouge	Orange	Vert	
Pixels classifiés	Rouge	14	0	1	15
	Orange	2	5	0	7
	Vert	1	6	9	16
	Totaux	17	11	10	38
Exactitude globale (%)		73,68			

ANNEXES

Annexe 1 : Bandes spectrales de Sentinel – 2 MSI

Bandes spectrales de Sentinel – 2 MSI, leur longueur d'ondes (nm) et leur résolution spatiale en (m) (Frampton et al., 2013), en encadré vert = les bandes utilisées

Tableau 1. Bandes spectrales de Sentinel-2 MSI.

bande S-2	1	2	3	4	5	6	7	8	8a	9	10	11	12
Longueur d'onde centrale (nm)	443	490	560	665	705	740	783	842	865	945	1375	1610	2190
Bande passante (nm)	20	65	35	30	15	15	20	115	20	20	30	90	180
Résolution spatiale (m)	60	10	10	10	20	20	20	10	20	60	60	20	20

Annexe 2 : Formules de calcul des indices de télédétection

Les indices suivants sont tirés des indices utilisés dans le projet Casteldiag du SPNA. Ici, Bxx correspond à une bande spectrale et xx au numéro de la bande spectrale.

- 1) $NDVI = \frac{B08 - B04}{B08 + B04}$ = normalized difference vegetation index
- 2) $NDII = \frac{B08 - B11}{B08 + B11}$ = normalized difference index, in a reflectance measurement, sensitive to changes in water content of plant canopies
- 3) $NDWI = \frac{B03 - B08}{B03 + B08}$ = normalized difference water index
- 4) $NBR = \frac{B08 - B12}{B08 + B12}$ = normalized burnt ratio
- 5) $NDVire2n = \frac{B08A - B06}{B08A + B06}$ = normalized difference vegetation index red-edge 2 narrow
- 6) $DVI = \frac{B08}{B04}$ = difference vegetation index
- 7) $Cigreen = \frac{B08}{B03} - 1$ = chlorophylle index
- 8) $Cri2 = \frac{1}{B02} - \frac{1}{B05}$ = carotenoïdes reflectance index
- 9) $GNDVI = \frac{B08 - B03}{B08 + B03}$ = green normalized difference vegetation index
- 10) $S2rep = 705 + 35 * \left(\frac{\left(\frac{(B07 + B04)}{2} \right) - B05}{(B06 - B05)} \right)$ = Sentinel-2 Red-Edge Position Index

Bibliographie et liens utiles

https://tutoqgis.cnrs.fr/12_00_teledection.php : tutoriel de télédétection depuis le site internet de Qgis®

<https://www.youtube.com/watch?v=ecL2hlbC8vw> : vidéo de classification par méthode supervisée

Pour utiliser les flux WMS/WMTS

- <https://data.geopf.fr/wms-r/wms?VERSION=1.3.0> : WMS Raster
- <https://data.geopf.fr/wms-v/wms?VERSION=1.3.0> : WMS Vecteur
- <https://data.geopf.fr/wmts?SERVICE=WMTS&VERSION=1.0.0&REQUEST=GetCapabilities> : Serveur WMTS
- https://geodata.inrae.fr/geoserver/inra_bdgsf/wms : Réserve Utile en eau et carte des sols BDGSF
- <https://mapserver.openig.org/maps/openig> : OpenIG (occupation au sol...)