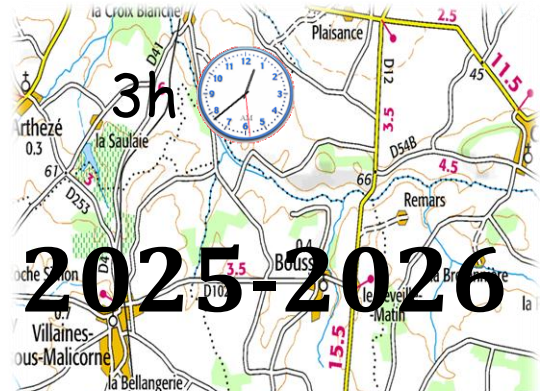


JEAN-MARC GILLIOT

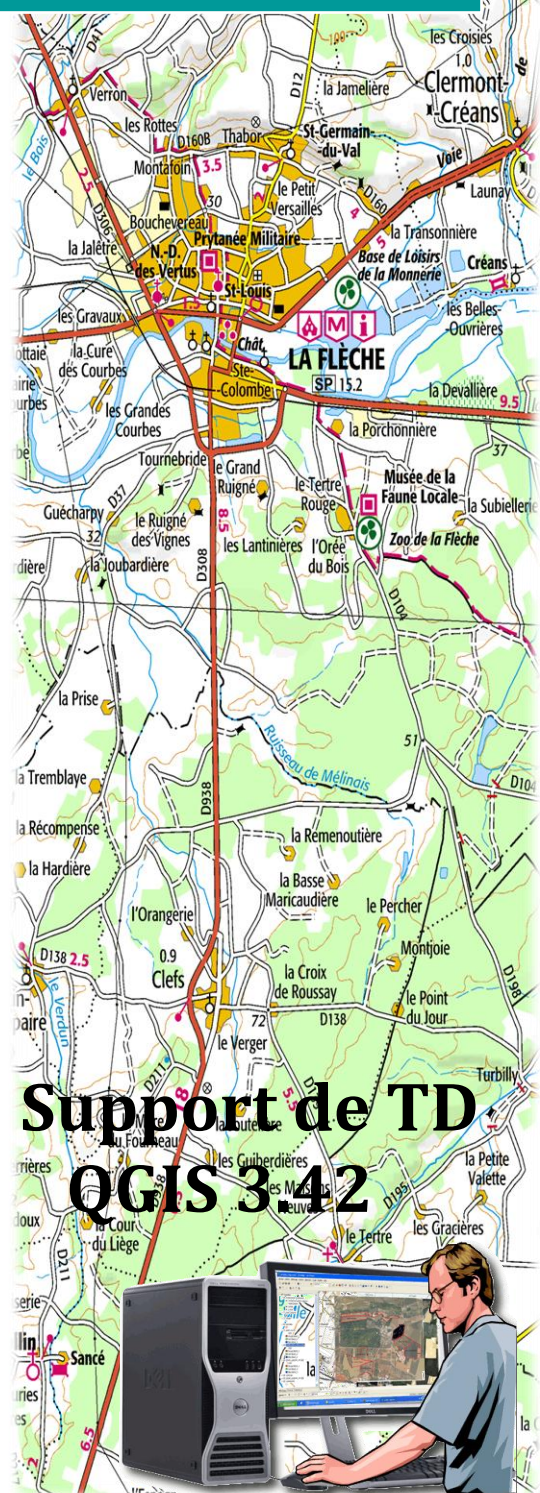
QGIS-tuto.fr



Introduction à la Télédétection avec QGIS 3.42

Applications aux milieux naturels et agricoles

Partie-1



Support de TD
QGIS 3.42

Version novembre 2025

AgroParisTech

Grande école européenne d'ingénieurs et de managers
dans le domaine du vivant et de l'environnement

Jean-marc.gilliot@agroparistech

Table des matières

1. Démarrage de QGIS et téléchargement des données	3
2. Notion de composition colorée : affichage des images	3
3. Géoréférencement d'une image satellitale.....	9
4. Notion de « signature » spectrale des objets dans les images	19
4.1 Codage numérique des pixels, réflectances et comptes numériques.....	19
4.2 Signatures spectrales	21
5. Utilisation des indices de Télédétection.....	24
5.1 Indices : exemple de l'indice de végétation NDVI pour extraire une culture	24
5.2 Indices : exemple d'un indice de végétation dans le visible : VARI	24
5.3 Indices : exemple de l'indice de brillance des sols agricoles.....	25
5.4. Potentialités des images Landsat pour l'identification et la délimitation des prairies humides du département de l'Aube par indice d'humidité.	25
6. Approches par régression linéaire entre radiométrie et variable d'intérêt	27
6.1 Prédiction de la teneur en carbone organique (CO) des sols par Télédétection	27
a) Construction du modèle de prédiction	27
b) Appliquer votre équation du modèle à l'image SPOT afin de créer une carte de teneur en matière organique des sols.....	30
c) Validation de la prédiction	30
d) Faire un modèle de prédiction du CO à partir de l'indice de brillance des sols.....	31
6.2 Prédire biomasse de cultures par Phénotypage automatique par drone	31
6.2.1 Création d'un modèle de prédiction de la biomasse des cultures de l'essai Blé / pois par régression à partir de l'orthoimage drone.....	32
6.2.2 Validation du modèle sur un autre jeu de données	33
6.2.3 Application du modèle sur toute la parcelle BLE_POIS.....	33



Conseil



A vous de jouer



Attention



durée



objectif

clic souris : gauche



droit



YouTube tuto. Vidéo



à retenir

1. Démarrage de QGIS et téléchargement des données

Cliquez sur le menu Windows



puis tapez « qgis »

Cliquez sur l'icône qui apparaît

QGIS Desktop 3.42
Application

QGIS est un logiciel libre téléchargeable sur :

<https://qgis.org/download/>Toutes les versions sont dans les archives : [Archive · QGIS Web Site](#)

QGIS est disponible sous Windows, Linux et Mac OSX.

Privilégier la dernière version dite « LTR » (long time release) qui est la plus stable.

2. Notion de composition colorée : affichage des images



Dossier GOLBEY

- **COMMUNE_L93.shp** : Les communes de France, shapefile projection RGF93 Lambert 93, le champ INSEE_COM le code INSEE de la commune et CAN son code de canton.
- **Le code du canton de GOLBEY** : 8808
- **Sentinel2** : **sentinel_2018_08_16.tif** : Extrait d'une image satellite Sentinel 2A couvrant le Canton de Gogley (88) du 16/08/2018 10h40, 4 bandes : [B1=bleu, B2=vert, B3=rouge, B4=proche infrarouge], résolution 10 m, non géoréférencée.

Sentinel-2 bands	Central wavelength (μm)	Resolution (m)	sentinel_2018_08_16
Band 1 – Coastal aerosol	0.443	60	
Band 2 – Blue	0.490	10	B1
Band 3 – Green	0.560	10	B2
Band 4 – Red	0.665	10	B3
Band 5 – Vegetation red edge	0.705	20	
Band 6 – Vegetation red edge	0.740	20	
Band 7 – Vegetation red edge	0.783	20	
Band 8 – NIR	0.842	10	B4

Les données de réflectance sont codées entre 0 et 10000 en entier.

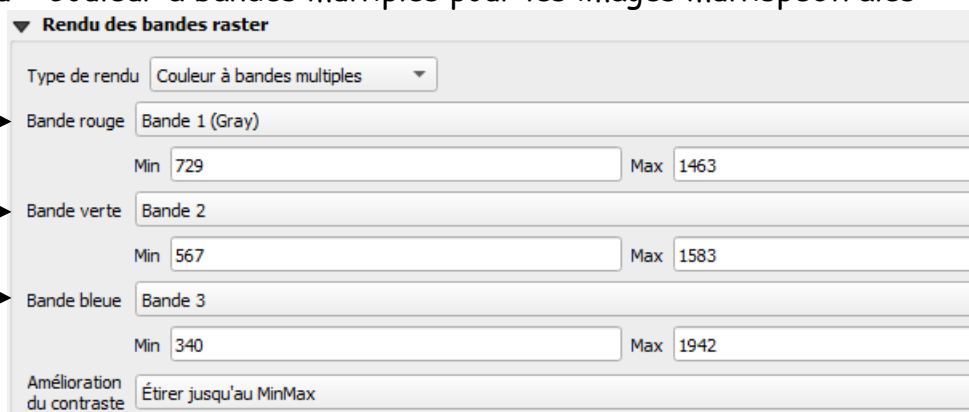
-  [clc_vosges.shp](#) : Corine Land Cover 2018 du département des Vosges
-  [CANTON_GOLBEY_L93.shp](#) : Les limites du Canton de Golbey.
-  [Parcelles_GOLBEY.shp](#) : Les limites des parcelles agricoles sur le canton de Golbey.
-  [routes_princ_BD_topo.shp](#) : Les routes principales de la BD topo. De l'IGN sur le canton.
-  [sample.shp](#) couche de points dont la nature de l'occupation du sol est identifiée
-  [roi_1.shp](#) et  [roi_2.shp](#) couches de ROI (region of interest) pour vérité terrain



Ajouter l'image Sentinel à QGIS et faire une composition colorée « vrai couleur »

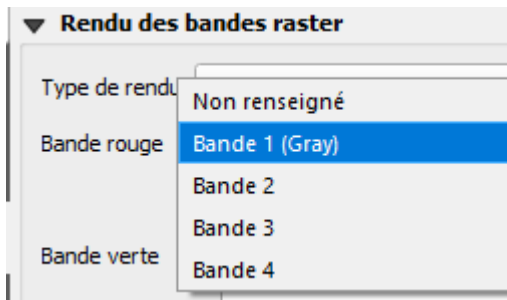
Dans les propriétés de la couche  **Symbologie** regardez le rendu de bande raster

Rendu = Couleur à bandes multiples pour les images multispectrales



La composition colorée consiste principalement à affecter les bandes spectrales de l'image aux composantes rouge, verte et bleue de l'écran.

Quand on clique par exemple en face de Bande rouge :



La liste qui s'affiche permet de choisir une bande spectrale de l'image pour l'affecter au rouge de l'écran.

La composition colorée consiste donc à choisir une bande pour le Rouge, une pour le Vert et une pour le Bleu.

Faire une composition colorée « vrai couleurs »



Bande image rouge (B1) >> Rouge
Bande image verte (B2) >> Vert
Bande image Bleue (B3) >> Bleue

Il est très souvent nécessaire d'adapter le contraste de l'image pour qu'elle soit bien visible.



Tester les améliorations d'affichage pour les Raster

Propriétés de la couche

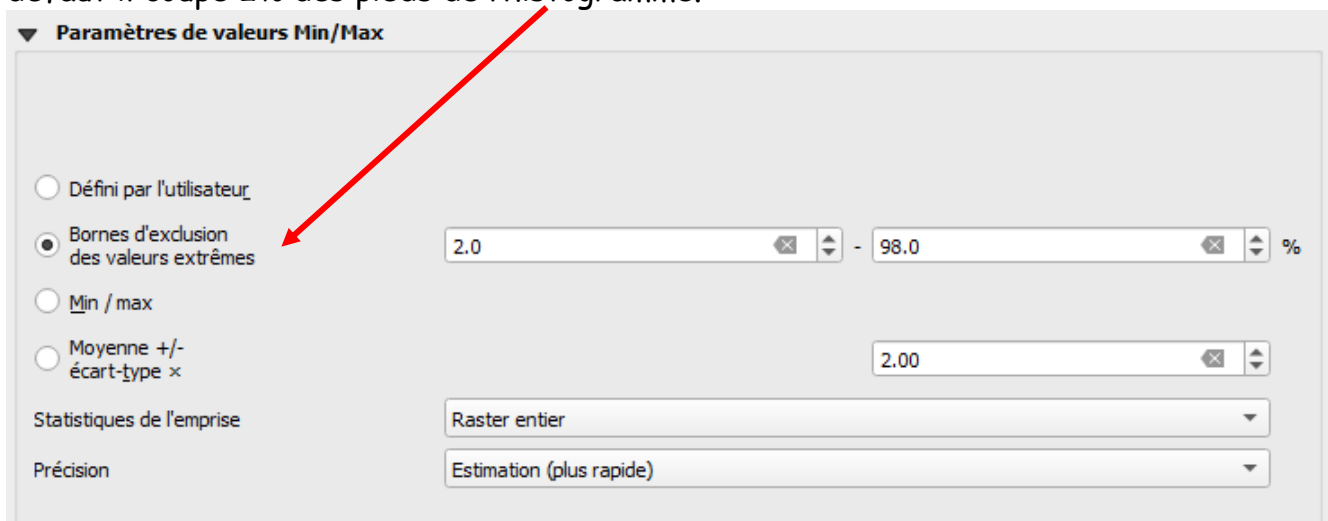


Symbologie



Paramètres de valeurs Min/Max

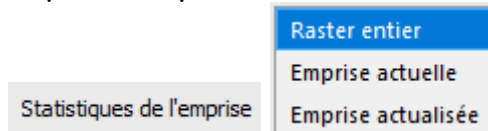
QGIS ajuste le contraste de l'image en fonction des bornes min et max des bandes, par défaut il coupe 2% des pieds de l'histogramme.



On peut augmenter ce pourcentage pour augmenter le contraste.

Il peut arriver que l'image soit presque complètement noire quand il y a une très grande différence dans l'image entre le max et le min, par défaut QGIS les calcule sur l'ensemble de l'image mais cela peut se changer avec : Statistiques de l'emprise :

Il y a trois possibilités



Raster entier : min / max calculés sur l'ensemble de l'image

Emprise actuelle : sur la zone actuellement affichée, et il garde ses bornes pour la suite quand on change de zoom ou de lieu.

Emprise actualisée : Qgis recalcule min / max à chaque fois qu'on scroll ou zoom



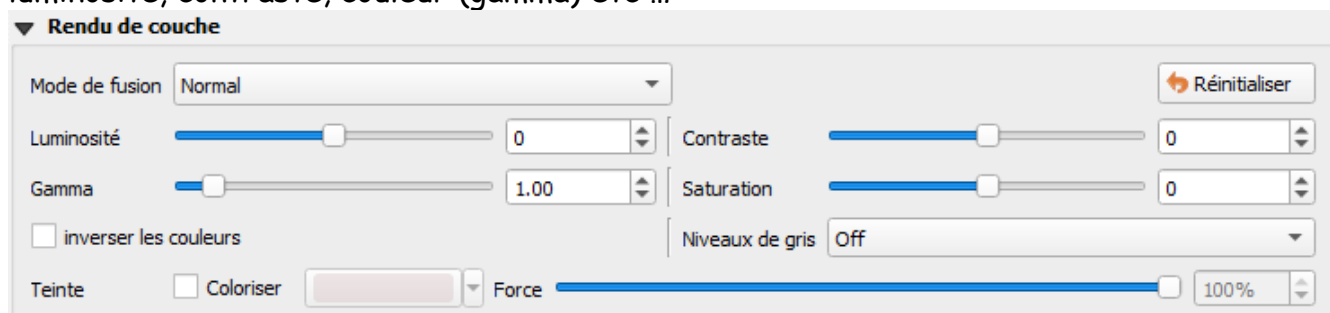
Emprise actualisée est à utiliser quand l'image est toute noire ou très très peu contrastée pour commencer à se repérer, en zoomant dans différents endroits.

Essayer Emprise actualisée en zoomant sur une forêt qui a l'air sombre :

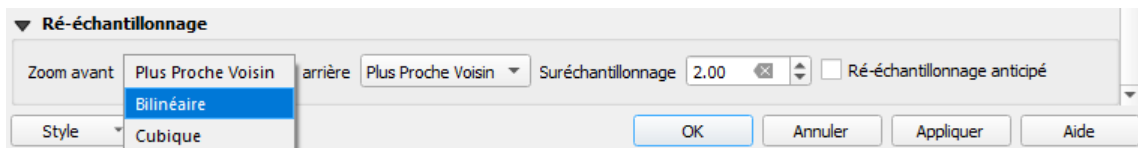


Si le contraste obtenu nous paraît adapté pour l'ensemble de l'image on bascule alors en statistiques de l'emprise « Emprise actuelle » pour que QGIS le garde, quand on change de zoom.

Le bas de la boîte de dialogue « rendu de la couche » permet de jouer directement sur luminosité, contraste, couleur (gamma) etc ...



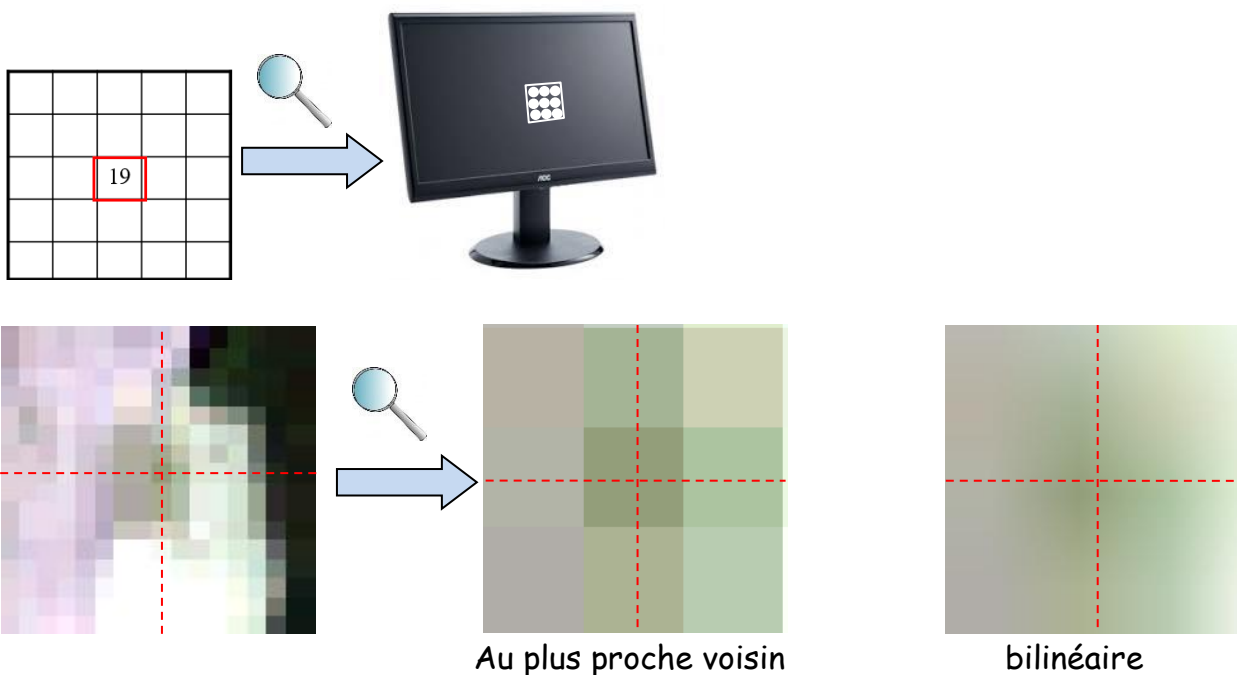
Paramètre Ré-échantillonnage lors des zooms (en bas de la boîte de dialogue):



Il faut distinguer le pixel qui est une cellule de la matrice image dans la mémoire de QGIS et le pixel d'affichage à l'écran :



Quand on zoom, pour grossir virtuellement l'affichage, un pixel mémoire est alors répliqué sur plusieurs pixels écran.



Dans la méthode au plus proche voisin tous les pixels écran garde la valeur du pixel mémoire, on voit alors virtuellement le carré du pixel mémoire grossir, dans la méthode bilinéaire les pixels écrans sont une moyenne des pixels mémoires autour de la position cela donne un affichage plus continu plus lisse (flou) mais on visualise moins l'échelle des données.



En télédétection on préfère la plupart du temps l'affichage au plus proche voisin pour pouvoir, dans certains cas analyser pixel à pixel les données.

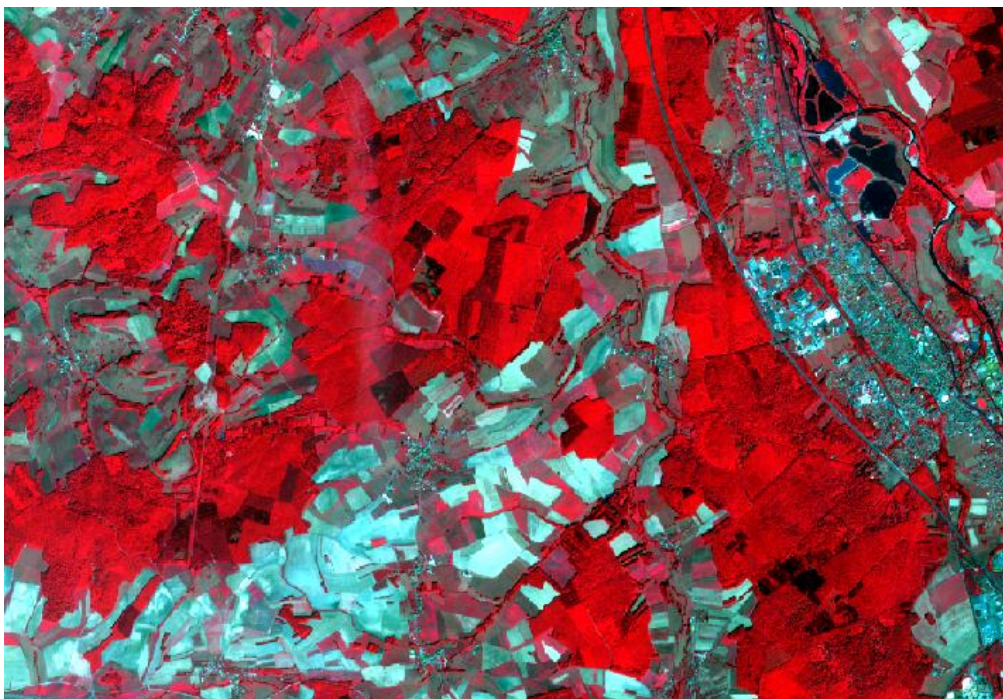


Faire une composition colorée « fausse couleur » PIR / R / V dite aussi infra-rouge couleur (IRC).

C'est la composition colorée fausse couleur la plus classique pour les images avec infra-rouge.



Bien repérer, dans le cas de cette image, quels sont les numéros des bandes qui correspondent respectivement au proche-infrarouge, au rouge et au vert.



Les couleurs rouges correspondent aux espaces avec de la végétation chlorophyllienne (verte) car le PIR a été affecté au rouge dans la composition colorée, les zones bleutées ou verdâtres correspondent soit à des sols nus, des espaces urbanisés ou des cultures (céréales) mures qui sont jaunes sur le terrain (plus vert émeraude dans la compo.). Le rouge foncé correspond généralement aux forêts, où c'est l'ombre portée des houpiers des arbres sur les arbres voisins qui assombri le rouge.

3. Géoréférencement d'une image satellitale

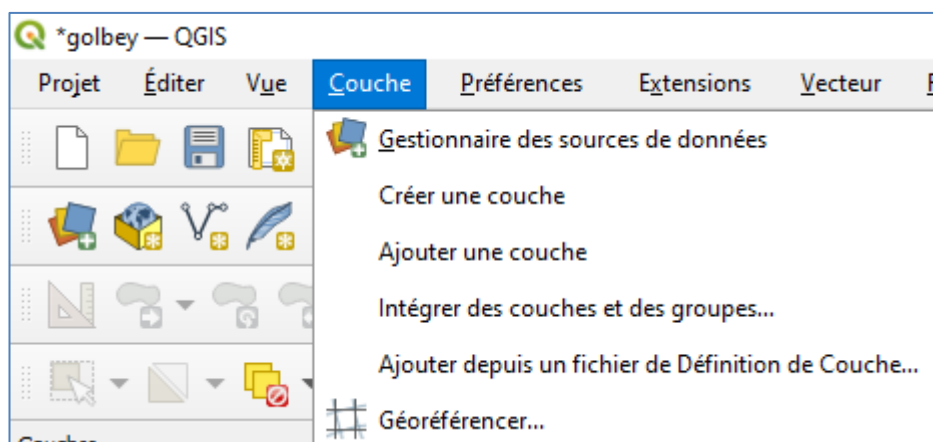
Géoréférencer l'image Sentinel 2A, sur un fond en ligne OpenStreetMap ou IGN. Vous masquerez l'image par le contour du canton.



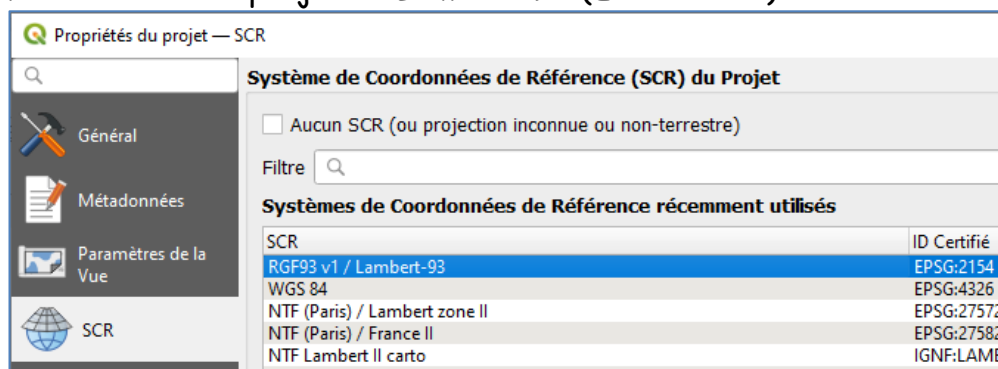
Les images satellitales Sentinel du programme européen Copernicus, sont livrées au téléchargement géoréférencées, ici le géoréférencement a été enlevé pour l'exercice.

Le géoréférencement dans QGIS est géré par le **Géoréferenceur GDAL**

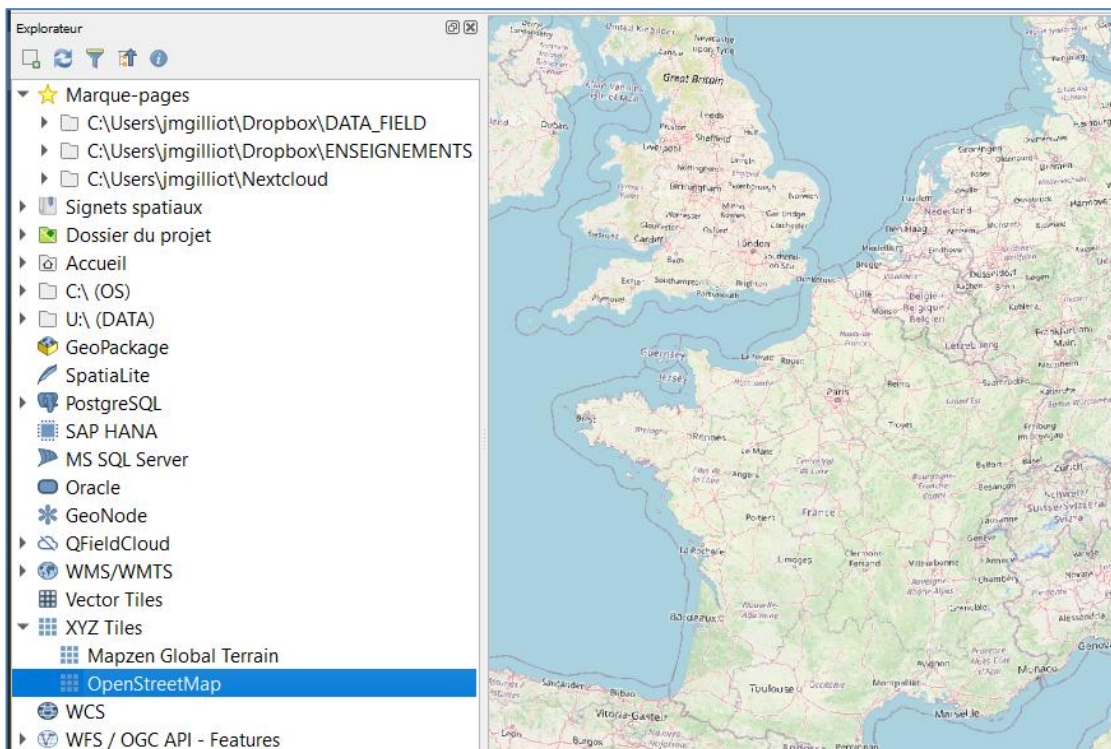
L'outil est dans le menu « Couches » :  Géoréférencer...



Fixer le SCR du projet en Lambert 93 (EPSG :2154)



Activer OSM OpenStreetMap) en fond, depuis l'explorateur de fichiers de QGIS, OSM va nous servir de référence géographique pour trouver des points de repère entre OSM et l'image Sentinel.

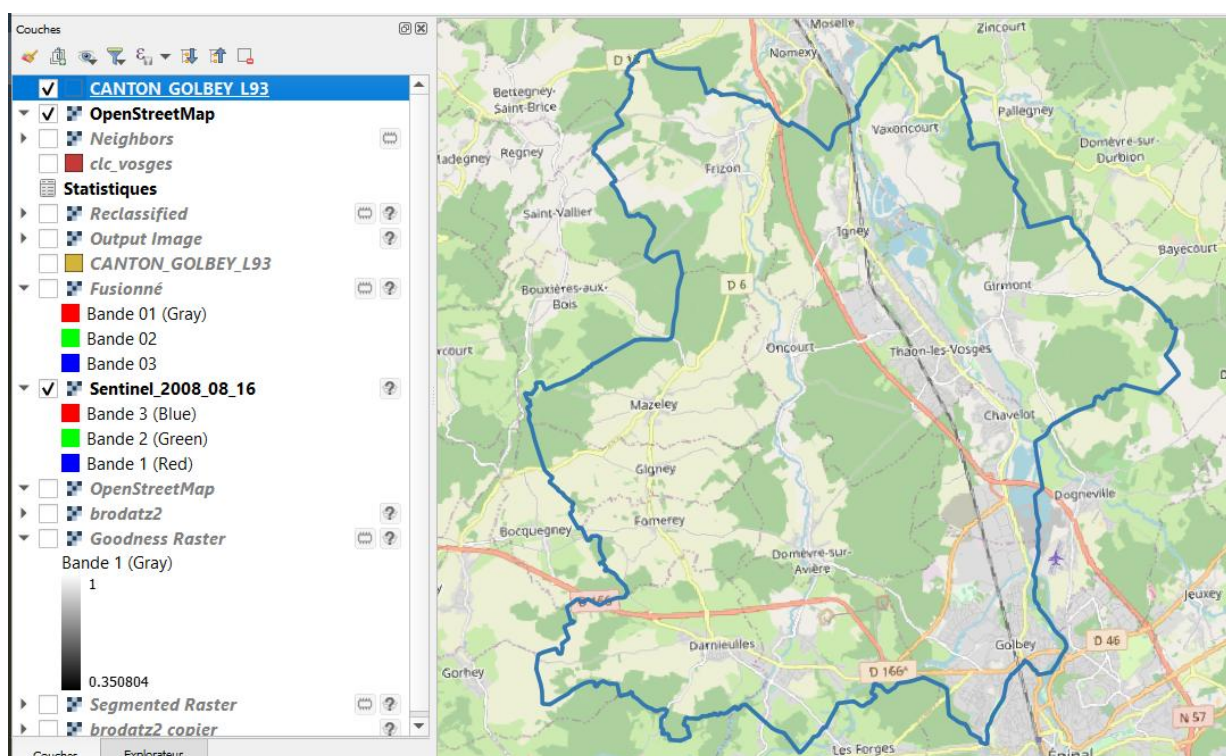


Ajouter depuis le dossier du projet



CANTON_GOLBEY_L93.shp

et zoomer dessus :

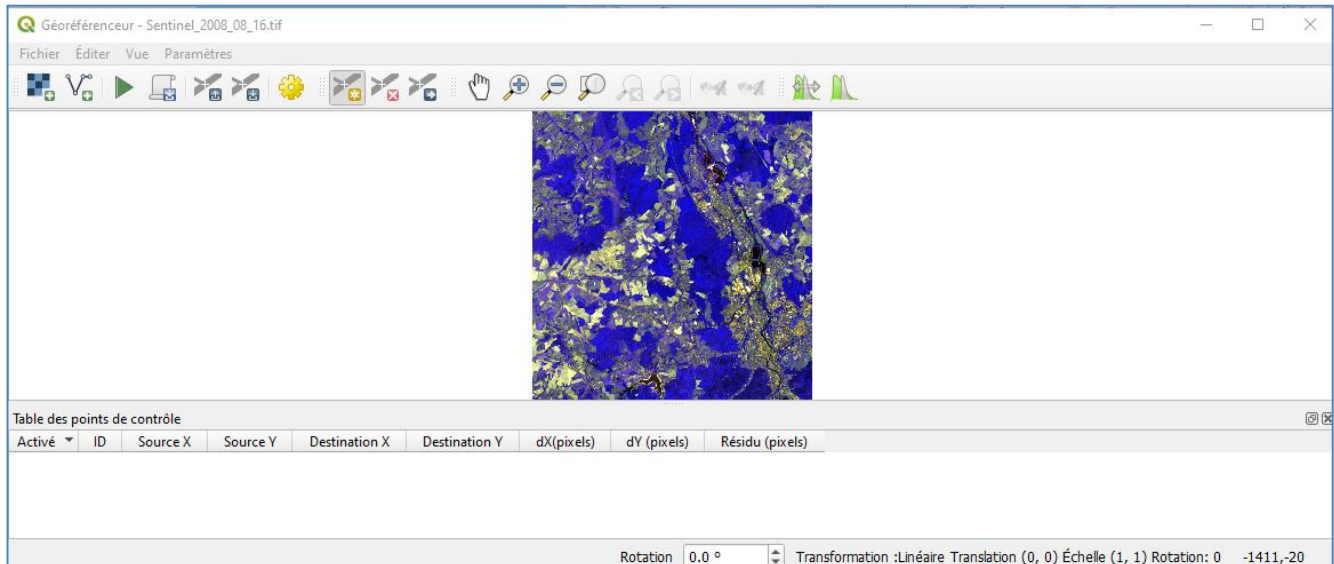


Comme l'image n'est pas géoréférencée elle ne peut pas apparaitre sur la position du canton et à l'échelle, on va donc la **géoréférencer** :

Ouvrir le module de Géoréférencement : Menu >> Couche >>  Géoréférencer...

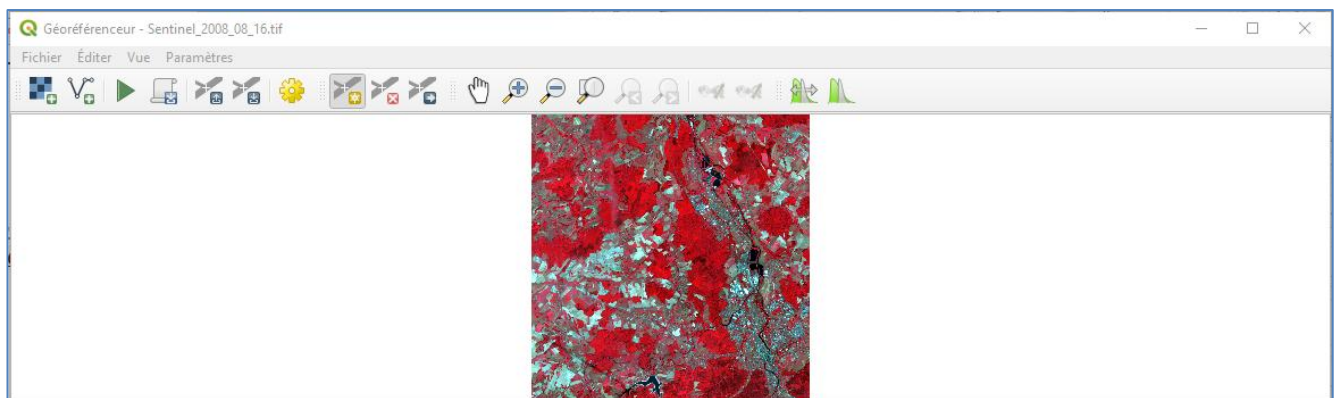
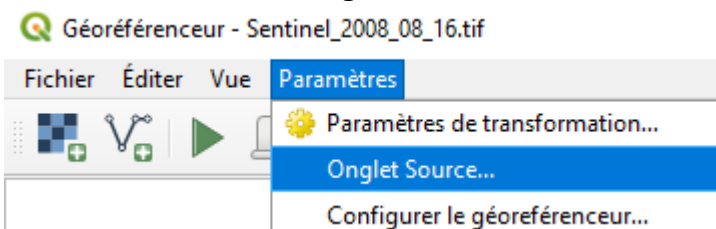
Une fenêtre s'ouvre

Ajouter l'image Sentinel en cliquant sur  depuis  Sentinel2  Sentinel_2008_08_16

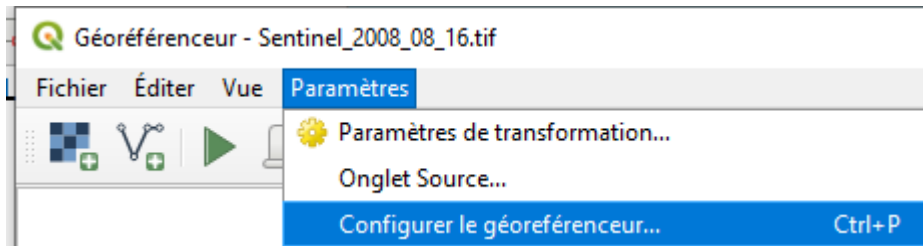


Changer la composition colorée en : PIR / R / V (4/3/2)

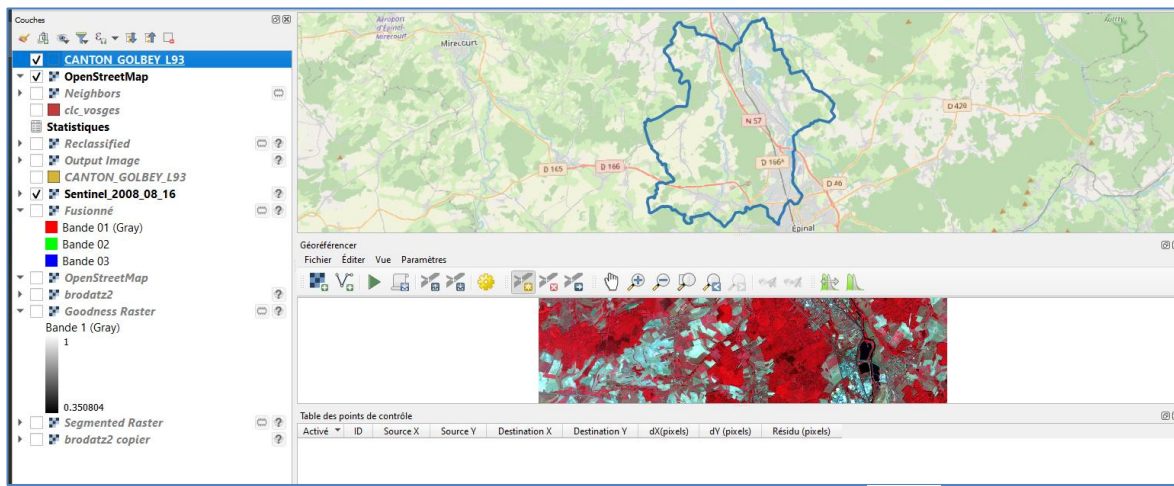
Dans Paramètres >> Onglet source



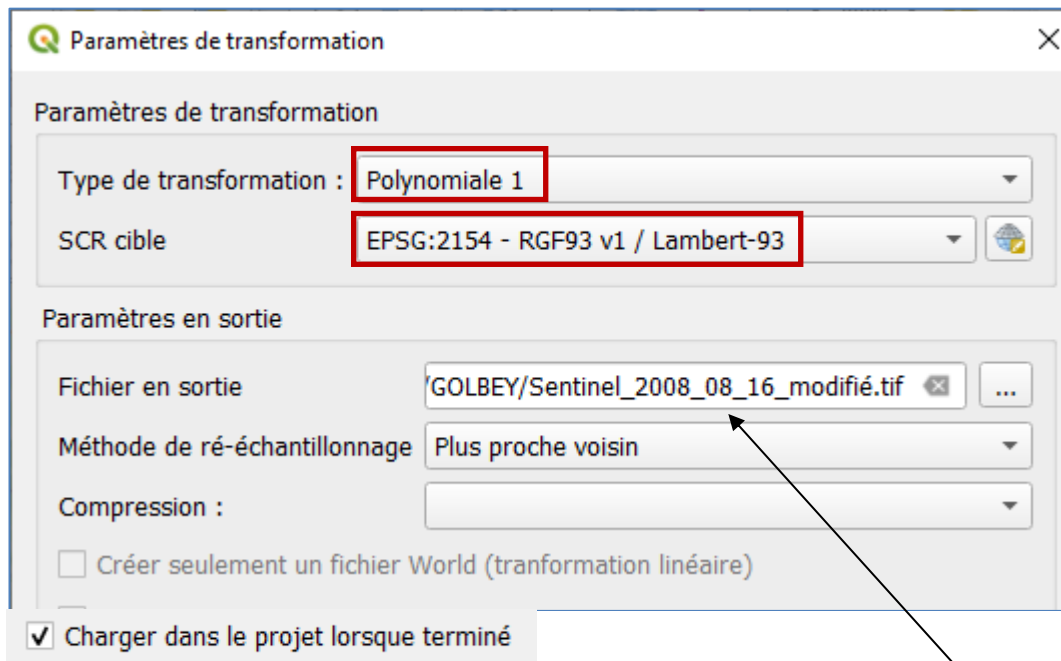
On peut afficher la fenêtre Géoréférencer dans la fenêtre principale de QGIS dans :



☒ Afficher la fenêtre de géoréférencement dans la fenêtre principale



Fixer le SCR et les paramètres de la transformation avec



Nom du fichier résultat

Vous allez saisir une série de couple de points homologues, entre l'image Sentinel et OpenStreetMap, pour que QGIS puisse calculer le géoréférencement. Un couple de points

homologues, ce sont deux points sur la même position géographique, l'un pris dans l'image satellite et l'autre pris sur OpenStreetMap :



Le modèle polynomial de degré un, utilisé répond à l'équation ci-dessous (Gilliot, 1999) :

$$\begin{cases} X_L = C_1 x_i + C_2 y_i + C_3 \\ Y_L = C_4 x_i + C_5 y_i + C_6 \end{cases}$$

Gilliot J-M - « Transformations géométriques des images de télédétection » - 1999 - dans l'ouvrage : « Traitement des données de télédétection », Girard M.C., Girard C.M., Dunod, pp 255-276.

Avec X_L , Y_L les coordonnées en mètres d'un emplacement en Lambert 93 dans OpenStreetMap et x_i , y_i les coordonnées du même emplacement en pixels dans l'image non géoréférencée, C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 et C_6 sont les constantes du polynôme. Les points homologues saisis par l'utilisateur de positions (X_L , Y_L) et (x_i , y_i) connues (cliquées par l'utilisateur) vont permettre à QGIS de résoudre le polynôme, c'est-à-dire en déterminer les constantes. Une fois le polynôme connu, l'équation sera appliquée à tous les pixels de l'image pour créer une nouvelle image avec une nouvelle géométrie géoréférencée, c'est-à-dire superposable à un fond cartographique en Lambert 93.

Il n'est pas toujours facile de repérer la même position entre l'image et la carte, commencez par repérer les plus gros objets : forêts, lacs, autoroutes ...



Choisir plutôt des objets anthropiques, qui sont précis géographiquement et stables dans le temps, typiquement des croisements de routes.

⚠ Attention dans la plupart des cartes, l'épaisseur des routes n'est pas à échelle, il ne faut donc pas placer un point au coin d'une intersection (croix rouge) de routes, mais à l'intersection des axes des deux routes (croix verte).



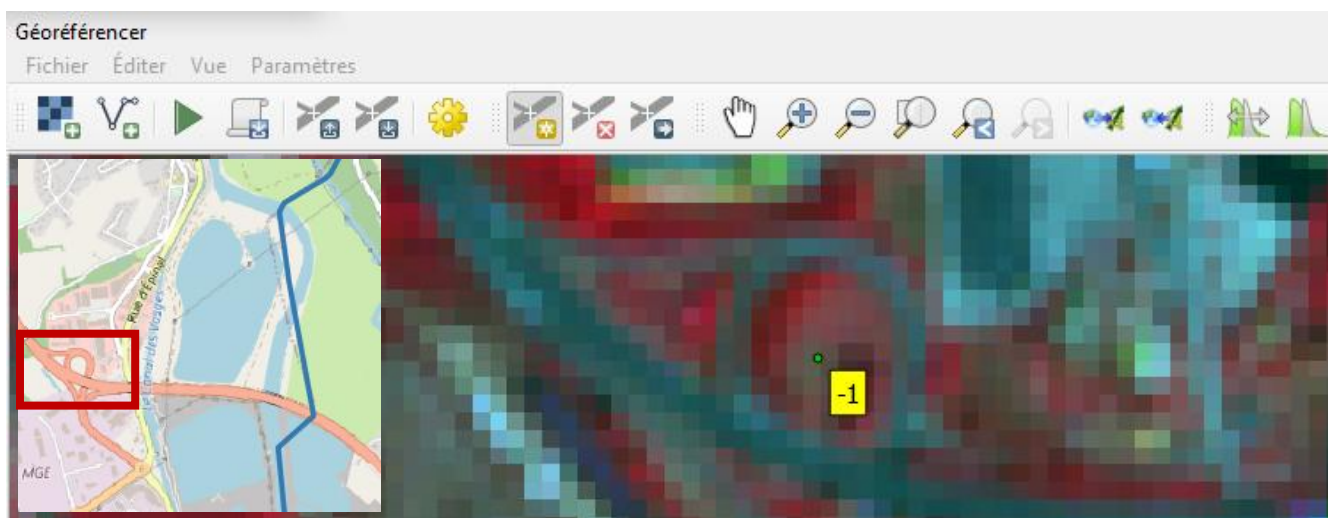
Saisir des **points homologues ou GCP** (Ground Control Point) avec le bouton



⚠ Une difficulté ici est liée à la résolution de l'image Sentinel (10 m), on ne verra pas les petites routes visibles dans une photo aérienne comme ci-dessus.

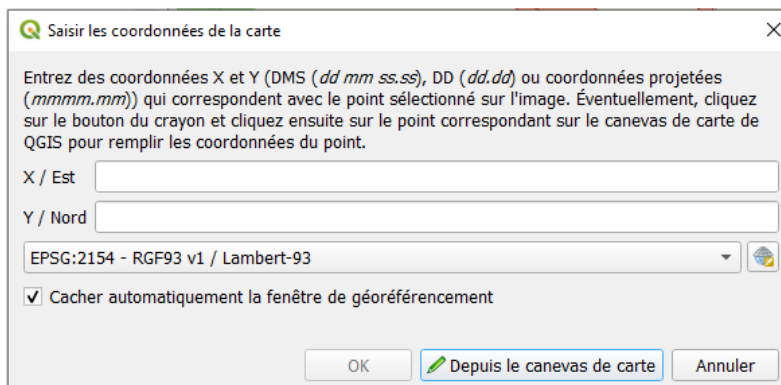
Prendre comme premier point le centre du rond-point ci-dessous :

⚠ **Toujours cliquer en premier sur la couche à géoréférencer**, ici Sentinel



Dans la boîte de dialogue qui apparaît, cliquer sur

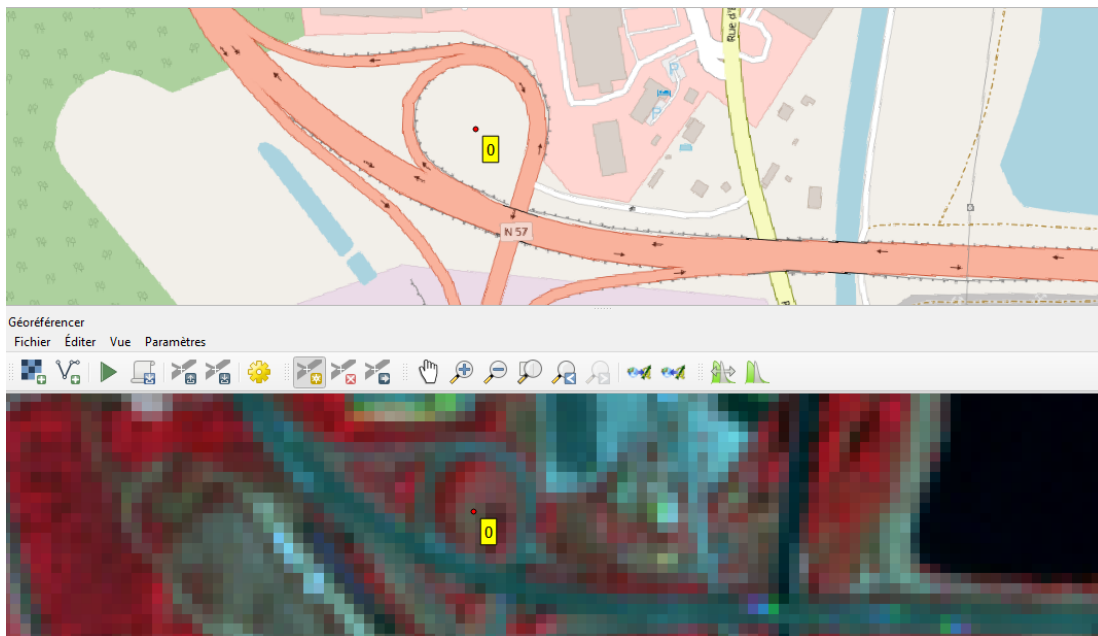
Depuis le canevas de carte



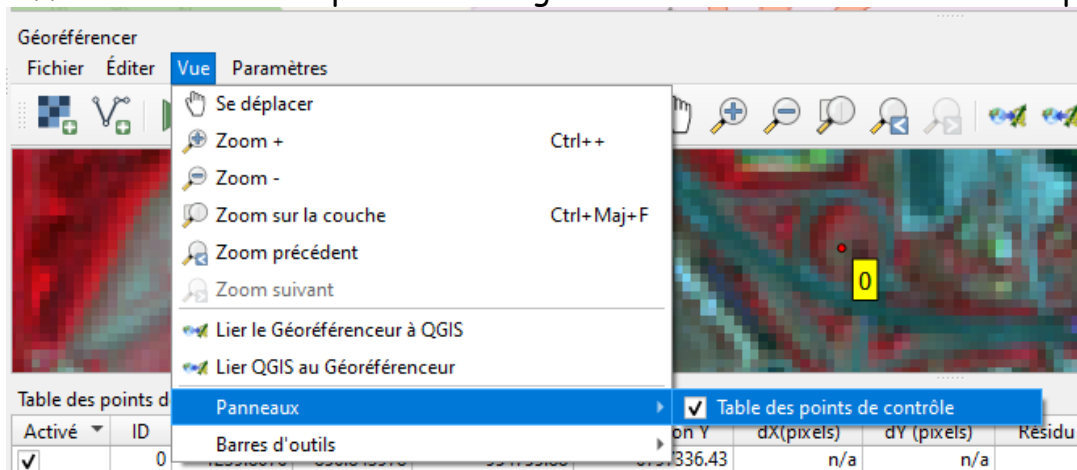
Et cliquer sur le centre du rond-point sur OpenStreetMap et Valider par

OK

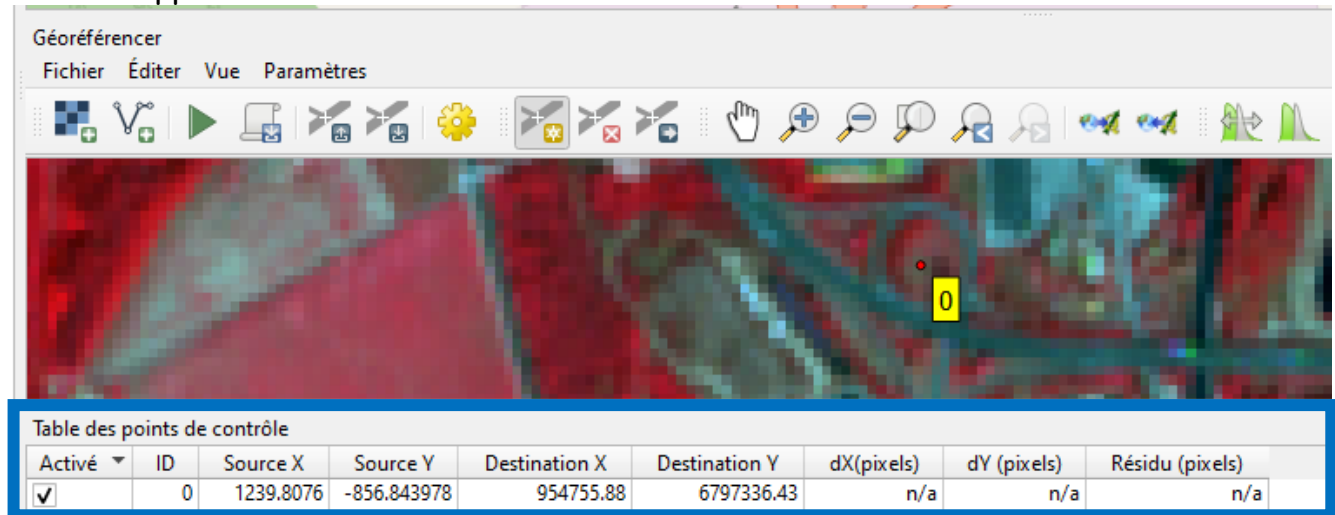
Le premier point est saisi :



Afficher la table des points homologues : Vue >> Panneaux >> Table des points



La table apparaît :



The screenshot shows the QGIS Georeferencer interface. At the top, there's a menu bar with 'Géoréférencer', 'Fichier', 'Éditer', 'Vue', and 'Paramètres'. Below the menu is a toolbar with various icons for georeferencing. The main area displays a satellite image with a point labeled '0' in a yellow box. At the bottom, the 'Table des points de contrôle' (Control Points Table) is visible, showing a single point with the following data:

Activé	ID	Source X	Source Y	Destination X	Destination Y	dX(pixels)	dY (pixels)	Résidu (pixels)
☒	0	1239.8076	-856.843978	954755.88	6797336.43	n/a	n/a	n/a

Source = coordonnées du point dans l'image Sentinel en pixels

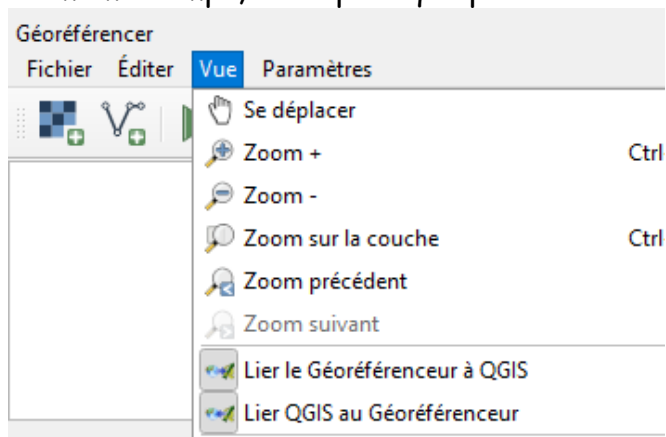
Destination = coordonnées du point sur OpenStreetMap en Lambert 93 (mètres)

Dx, Dy, Résidu = les erreurs (ne peuvent être calculées qu'avec au moins 4 points)

Prendre entre 4 et 10 points, les répartir sur le pourtour du canton.

⚠ Il ne faut pas concentrer les points dans une zone, mais les répartir sur le pourtour de l'image ou de la zone d'intérêt (ici le canton).

Quand vous avez plusieurs points les deux affichages peuvent être liés pour se « déplacer » en même temps, quand on zoom ou scroll dans une fenêtre l'autre se déplace en même temps, c'est pratique pour trouver les points suivants :



The screenshot shows the 'Vue' (View) menu in the QGIS Georeferencer. The menu options are:

- Se déplacer
- Zoom + (Ctrl)
- Zoom -
- Zoom sur la couche (Ctrl)
- Zoom précédent
- Zoom suivant
- Lier le Géoréférencer à QGIS
- Lier QGIS au Géoréférencer

Dès que vous avez au moins quatre points les erreurs sont calculées :

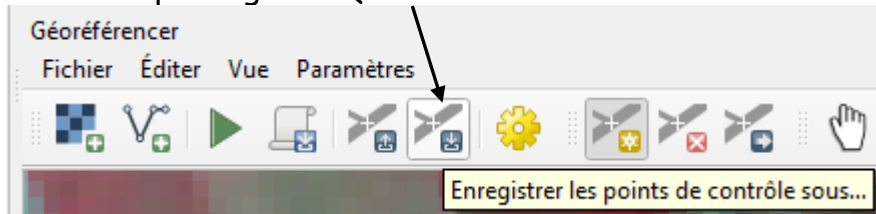
Activé	ID	Source X	Source Y	Destination X	Destination Y	dX(pixels)	dY (pixels)	Résidu (pixels)
☒	0	1239.8076	-856.843978	954755.88	6797336.43	0.190202	0.016399	0.190908
☒	1	542.719486	-1137.5329	947786.46	6794531.97	-0.345848	-0.029818	0.347131
☒	2	973.957598	-324.873748	952097.83	6802647.08	-0.313032	-0.026988	0.314193
☒	3	546.837355	-708.578630	947837.66	6798813.96	0.468677	0.040408	0.470416

dX = erreur en X, dY en Y et Résidu = erreur en distance euclidienne en Pixels.

On voit que les résidus sont inférieurs à 1 pixel, donc les points sont bien positionnés, il faudrait en prendre un peu plus pour être sûr de la qualité. L'erreur maxi. d'environ 0.5 correspond donc à une erreur de 5 mètres pour un pixel Sentinel à 10 m.



Enregistrer régulièrement les points dans un fichier, pour ne pas perdre son travail en cas de plantage de QGIS.

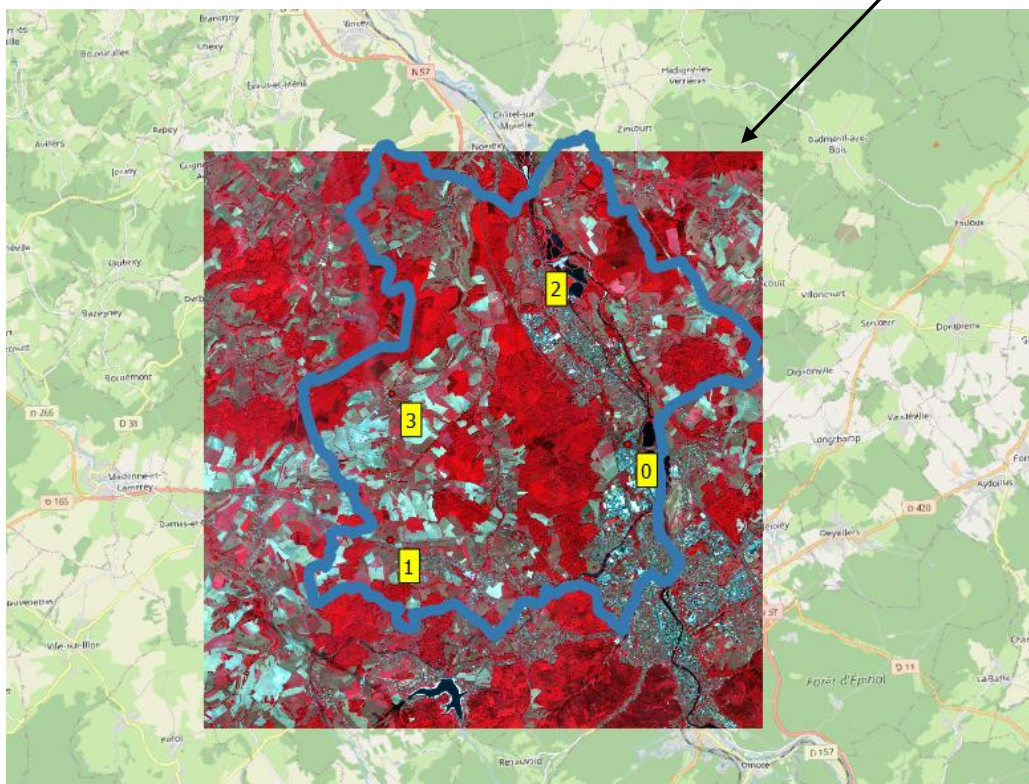


On applique maintenant le modèle à toute l'image avec , l'image va être **rectifiée** (déformée) pour être **géoréférencée**.

Une nouvelle image est générée et est chargée dans le projet QGIS :

 **Sentinel_2008_08_16_modifié**

Le résultat est maintenant bien géoréférencé par rapport à OpenStreetMap

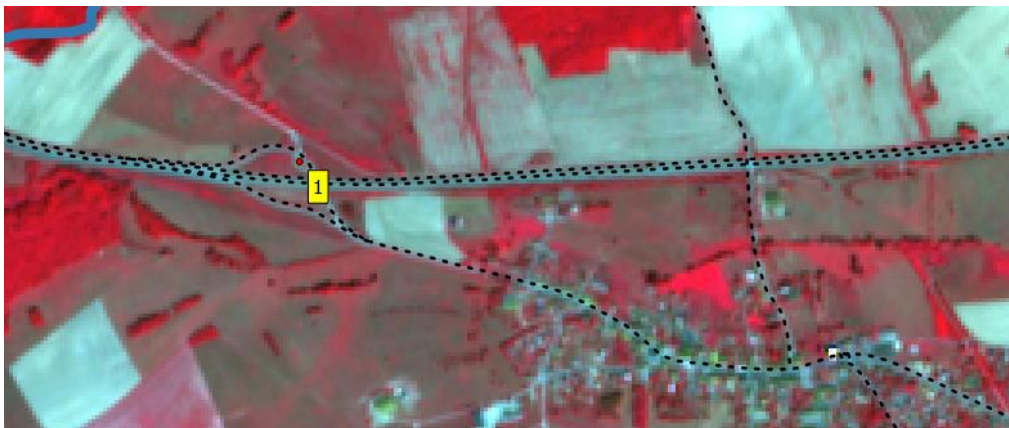


Ajouter la couche  **routes_princ_BD_topo.shp** il s'agit des routes principales issues de la base de données IGN « BD topo », vérifier leur bonne superposition visuellement avec l'image Géoréférencée.



- ☒ ... routes_princ_BD_topo
- ☒  Sentinel_2008_08_16_modifié

Les routes ont l'air bien centrées sur l'image, il faut beaucoup zoomer et se déplacer dans toute l'image pour vérifier que le géoréférencement est bon partout :



💡 Bien regarder les décalages avec les routes dans toutes les directions (Nord/Sud Est/Ouest), il peut y avoir un biais systématique dans une direction.

💡 Le modèle polynomial est un modèle de déformation globale (le même pour tous les pixels de l'image) moyen, il peut être inadapté dans certains endroits précis, par exemple en cas de topographie marquée, dans ce dernier cas il faut utiliser un modèle particulier dit **d'OrthoRectification**, qui utilise en plus un MNA (Modèle Numérique d'Altitude) pour tenir compte de la topographie, c'est ce qui est utilisé pour produire les photos. Aériennes de l'IGN dites « **ortho-photos** », on parle aussi « **d'Ortho-Images** ».

💡 La plupart des données d'imagerie actuellement distribuées en téléchargement sont fournies en **ortho-image**, mais on peut être amené à géoréférencer soit même des images historiques anciennes.

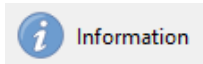
4. Notion de « signature » spectrale des objets dans les images

4.1 Codage numérique des pixels, réflectances et comptes numériques

Sur votre image géoréférencée précédemment :  **Sentinel_2008_08_16_modifié**
En composition colorée fausses couleurs IRC



Consulter les propriétés de la couche Sentinel dans



Les points les plus importants à regarder

Information du fournisseur

Largeur	1634
Hauteur	1827
Type de Donnée	UInt16 - nombre entier non signé de seize bits
Description du Driver GDAL	GTiff
Métadonnées	GeoTIFF
Taille du Pixel	10.00037998776008585,-9.976518336069766235

Système de coordonnées de référence (SCR)

Nom	EPSG:2154 - RGF93 v1 / Lambert-93
Unités	mètres

Bandes

Nombre de bandes	4
------------------	---

Nombre	Bande	Pas de données	Min	Max
1	Bande 1	n/a	675.0000000000	7168.0000000000
2	Bande 2	n/a	250.0000000000	6200.0000000000
3	Bande 3	n/a	271.0000000000	14011.0000000000
4	Bande 4	n/a	202.0000000000	11059.0000000000

Le format d'image est le GeoTIFF c'est le plus classique pour toutes les données raster aujourd'hui, Taille du pixel est la résolution de 10m, on remarque qu'un pixel peut ne pas être parfaitement carré, le SCR (référentiel géographique), le nombre de bandes spectrales. Type de données est le codage informatique des pixels, UInt16 veut dire unsigned integer on 16 bits = entier non signé codé sur 16 bits.

UInt16 permet de représenter des entiers non signés entre 0 et 65535 ($2^{16} - 1$). On trouve aussi souvent des images codées en Byte (octet en français) qui sont des entiers non signés sur 8 bits : entre 0 et 255 ($2^8 - 1$) et des images en float (réels) sur 32 ou 64 bits.



Consulter dans  Sentinel2 les informations / métadonnées de l'image d'origine :

Dans le dossier HTML cliquer sur `UserProduct_index.html`

Une page s'affiche dans le navigateur web avec des informations de l'image :



User product metadata

Product Info

Product uri	Processing level	Product type	Processing baseline	Generation time	Preview image ur
S2A_MSIL2A_20180816T104021_N0208_R008_T31UFQ_20180816T190612.SAFE	Level-2A	S2MSI2A	02.08	2018-08-16T19:06:12.000000Z	Not applicable

Datatake GS2A_20180816T104021_016450_N02.08

On y trouve des informations sur : le satellite, les date/heure d'acquisition, l'orbite, la qualité de l'image, l'emprise, le taux de couverture nuageuse etc ...

Repérer le niveau de traitement effectué sur l'image (processing level)

Product Info

Product uri	Processing level	Product type	Processing baseline	Generation time
S2A_MSIL2A_20180816T104021_N0208_R008_T31UFQ_20180816T190612.SAFE	Level-2A	S2MSI2A	02.08	2018-08-16T19:06:12.000000Z

Sentinel-2 MSI User Guide - Product Types

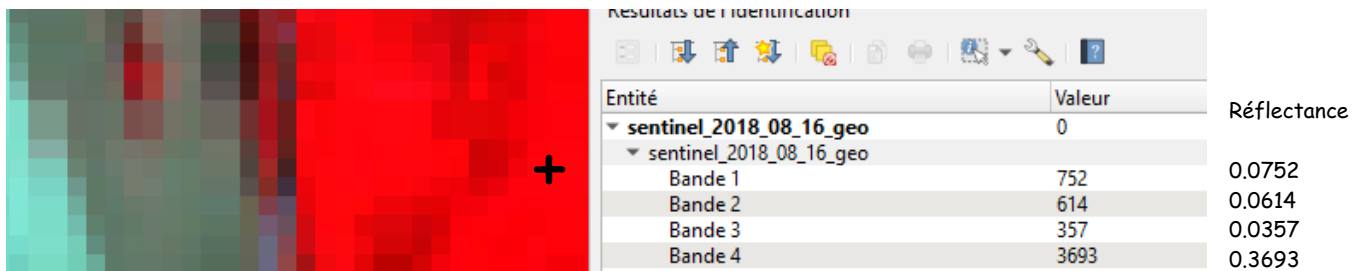
SENTINEL-2 products available for Users are listed in Tables 1 and 2.

Type	Code	Description	Users	Production & Distribution
User Product	Level-1B	Top-Of-Atmosphere radiances in sensor geometry	Expert Users	Systematic generation and online distribution
	Level-1C	Top-of-atmosphere reflectances in cartographic geometry	All Users	Systematic generation and online distribution
	Level-2A	Atmospherically corrected Surface Reflectances in cartographic geometry		

Ici : Level-2A L'image est en réflectance et corrigée des effets de l'atmosphère, c'est le niveau de traitement que l'on recherche le plus souvent.

⚠ Les réflectances peuvent varier par définition entre 0 et 1 (ou 100%), comme elles sont codées en Uint16 elles sont **entre 0 et 10000** en entier, cela permet de prendre deux fois moins de place qu'en réel pour une précision acceptable.

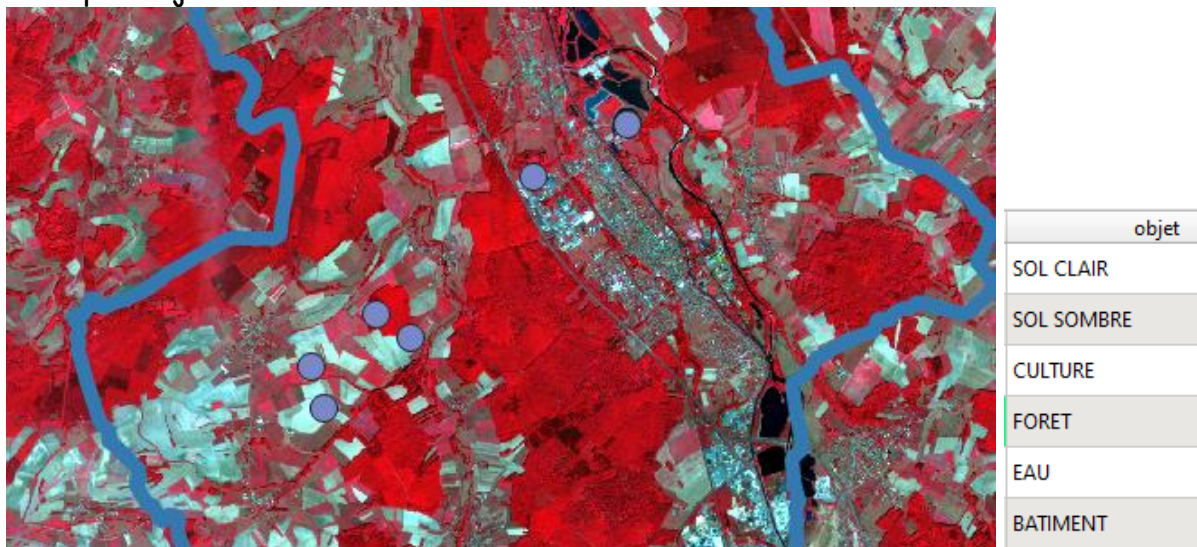
🎬 Cliquer en différents endroits de l'image avec  pour visualiser les réflectances dans les différentes longueurs d'onde.



4.2 Signatures spectrales

Ajouter la couche  **sample.shp** sur l'image Sentinel.

Il s'agit de plusieurs points dont la nature de l'occupation du sol est identifiée dans le champ « objet »



Prélever les valeurs des pixels avec la fonction :

 ➡  Analyse raster ➡  Prélèvement des valeurs rasters vers ponctuels

 Prélèvement des valeurs rasters vers ponctuels

Paramètres Journal

Couche source
° sample [EPSG:2154]

☐ Entité(s) sélectionnée(s) uniquement

Couche raster
 Sentinel_2008_08_16_modifié [EPSG:2154]

Préfixe de la colonne en sortie [optionnel]
B_

Echantillonné
U:/temp/temp/GOLBEY/signatures.xlsx

Préfixe « B_ » (Bande)

Créer un fichier Excel en sortie

Ouvrir le fichier dans Excel

	A	B	C	D	E	F
1	id	objet	B_1	B_2	B_3	B_4
2		SOL CLAIR	1494	1708	2245	2842
3		SOL SOMBRE	1293	1352	1698	2419
4		CULTURE	923	1013	748	3234
5		FORET	746	572	347	2002
6		EAU	819	629	374	312
7		BATIMENT	2881	2871	3025	2905

On a pour chaque objet, le Compte Numérique (CN) ou DN (Digital Number) en anglais dans chaque bande spectrale. Ici les valeurs sont en réflectances (entre 0 et 10000)

Faire un graphique « séries » en X les bandes et en Y la réflectance



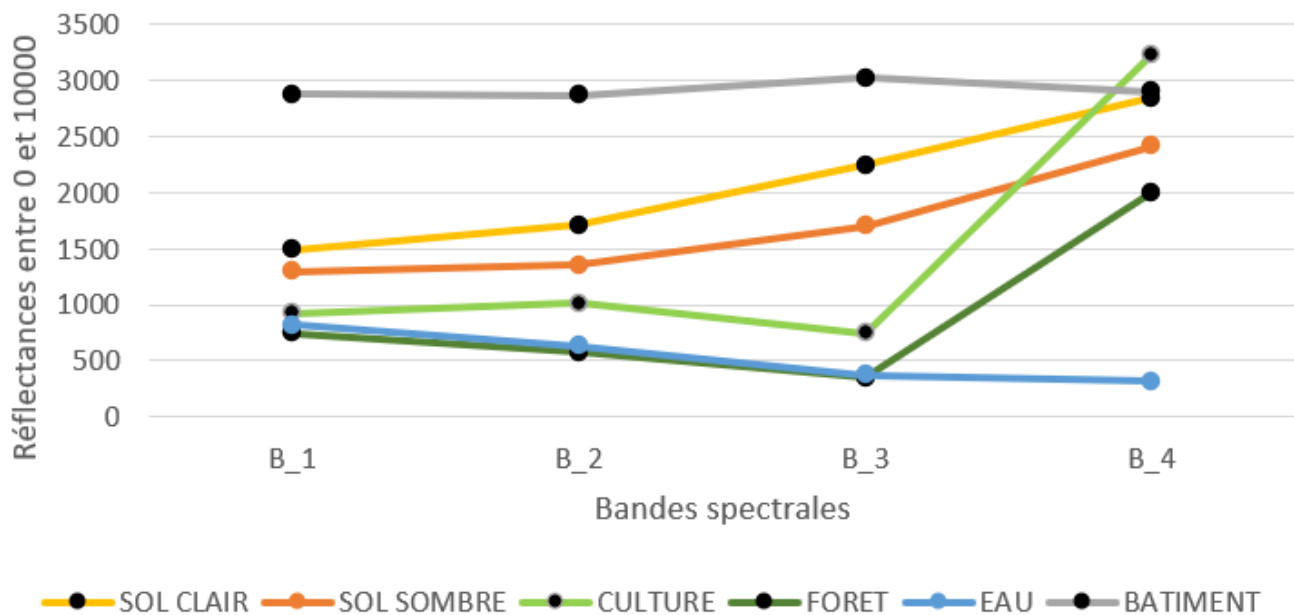
Intervertir
ligne/colonne

Si le graphique est inversé :



On préfère quelque fois le terme de « **réponse** » à celui de « **signature** ».

signatures spectrales



Comparer les courbes végétations chlorophylliennes (vertes) versus les autres, en particulier en regardant B_4 (proche infra-rouge) vs les autres bandes.



Comparer sol clair versus sol sombre

On parle de droite des sols pour la variation de la réflectance des sols en fct de la longueur d'onde.



Comparer Forêt et culture



Commenter la courbe de l'eau par rapport aux autres.



Comparer Sol clair et bâtiment : Notion de **confusion spectrale**



Refaire l'analyse précédent mais en utilisant une surface sur les objets (polygone) plutôt qu'un point, pour intégrer la variabilité spectrale des objets. Mettre les moyennes et écarts types sur vos graphiques :



5. Utilisation des indices de Télédétection

5.1 Indices : exemple de l'indice de végétation NDVI pour extraire une culture

Dossier GOLBEY

Le NDVI ou « Normalized difference vegetation index » est le plus connu des indices de télédétection, c'est un indice de végétation, conçu pour faire ressortir la végétation chlorophyllienne :

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

Avec PIR la réflectance dans la bande proche infra-rouge et R dans la bande rouge.

Le NDVI peut varier de -1 à 1

Un indice est calculé par combinaison arithmétique de plusieurs bandes spectrales d'une image de télédétection.

Sur votre image géoréférencée précédemment :  Sentinel_2008_08_16_modifié



Calculer puis cartographier la surface, en hectares de maïs, par commune, dans le canton de Golbey, à partir de l'image satellite Sentinel 2A du mois d'août



On fera l'hypothèse qu'en août seules les parcelles en maïs sont encore végétalisées (biomasse verte) au mois d'août. Calculer un NDVI puis le seuiller (NDVI > 0.2) pour isoler les zones en végétation verte dans les parcelles.

Pour le calcul des indices utiliser une calculatrice Raster, par exemple :



Analyse raster



Calculatrice raster

5.2 Indices : exemple d'un indice de végétation dans le visible : VARI

Certaines caméras ne possèdent pas de bande proche-infrarouge, des indices de végétations ont été proposés qui n'utilisent que les bandes du visible comme l'indice VARI (Visible Atmospherically Resistant Index).

$$VARI = \frac{V - R}{V + R - B}$$

Avec V (vert), R (rouge) et B (bleu)

Gitelson, A., et al. Vegetation and Soil Lines in Visible Spectral Space: A Concept and Technique for Remote Estimation of Vegetation Fraction." *International Journal of Remote Sensing* 23 (2002): 2537-2562.



Comparer visuellement le résultat du VARI avec le NDVI

5.3 Indices : exemple de l'indice de brillance des sols agricoles

L'indice de brillance (IB) est défini par :

$$IB = \sqrt{PIR^2 + R^2}$$

Avec PIR la réflectance dans la bande proche infra-rouge et R dans la bande rouge.



Calculer et cartographier la « brillance » des sols nus des parcelles agricoles

en trois classes.   Analyse raster  Calculatrice raster



Isoler dans les images les parcelles agricoles, puis les parcelles en sol nu, puis calculer l'IB et l'afficher en trois classes (Légende par valeurs uniques).



Calculer le pourcentage de chacune des classes précédentes dans l'ensemble des sols nus agricoles du canton.



 Analyse raster  Reclassification par table

5.4. Potentialités des images Landsat pour l'identification et la délimitation des prairies humides du département de l'Aube par indice d'humidité.



Dossier ZH AUBE

- **Sous-dossier LANDSAT** : image Landsat 07 géoréférencée du 15/02/2003 (département de l'Aube) en Compte Numérique (CN). Format GeoTiff, la projection est WGS_1984_UTM_Zone_31N
- **DEPARTEMENT.SHP** : le shape des départements français (Lambert 93)
- **Communes_aube.shp** : le shape des communes de l'Aube
- **Corine_aube_2000.shp** : le shape de Corine Land Cover 2000

Les bandes de Landsat 7 :

- Band 1 Visible bleu (0.45 - 0.52 μm) 30 m
- Band 2 Visible vert (0.52 - 0.60 μm) 30 m
- Band 3 Visible rouge (0.63 - 0.69 μm) 30 m
- Band 4 Near-Infrared (0.77 - 0.90 μm) 30 m
- Band 5 Short-wave Infrared (1.55 - 1.75 μm) 30 m
- Band 6 Thermal (10.40 - 12.50 μm) 60 m Low Gain / High Gain
- Band 7 Mid-Infrared (2.08 - 2.35 μm) 30 m
- Band 8 Panchromatic (PAN) (0.52 - 0.90 μm) 15 m

Outils QGIS utiles :

- Masquage géographique sous QGIS avec un masque vecteur :

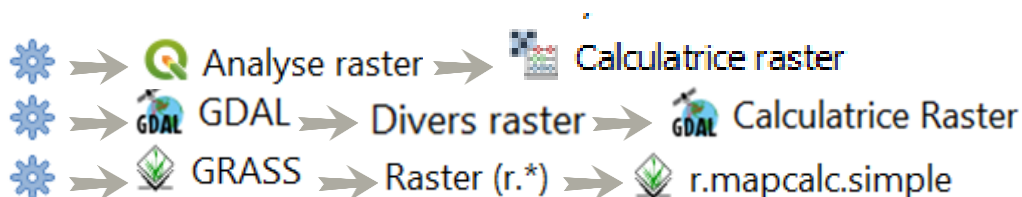


- Reprojection rapide

Clic droit sur la couche ➔ Exporter ➔ Enregistrer sous
Cela permet de créer un GeoTiff et on peut aussi changer le SCR (projection)

- Renommer une couche : clic droit sur la couche ➔ menu ➔ Renommer la couche

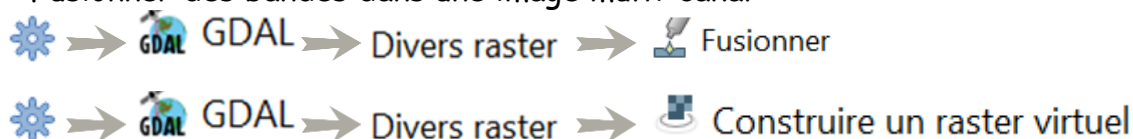
- Formule arithmétique et masquage logique avec les calculatrices Raster :



- Statistiques zonales



- Fusionner des bandes dans une image multi-canal



Construire un masque (couche binaire) des surfaces d'eau libre en utilisant l'indice normalisé d'humidité $NDWI_{McFeeters}$ (McFeeters 1996). Vous masquerez votre carte par le contour du département de l'Aube.

$$NDWI_{McFeeters} = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$



Identification des zones de prairies « humides » en utilisant l'indice normalisé d'humidité $NDWI_{GAO}$ (B.C. GAO, 1996) et Corine Land Cover (code Corine 231 pour les

prairies). Vous utiliserez la bande 5 de Landsat pour le SWIR. Vous masquerez votre carte par le contour du département de l'Aube.

$$NDWI_{GAO} = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Considérez $NDWI_{GAO} > 0.2$ comme « humide » pour les prairies



Cartographier le pourcentage de prairies qui sont « humides » par commune.

McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.

Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.

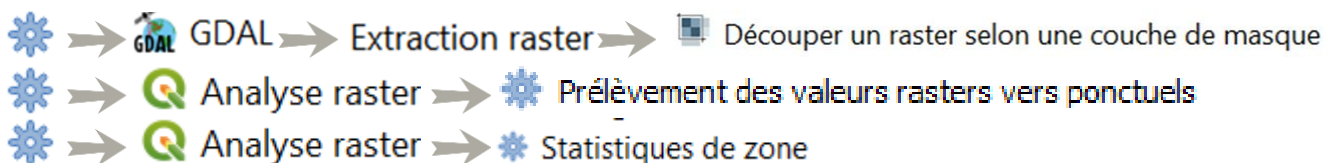
6. Approches par régression linéaire entre radiométrie et variable d'intérêt

6.1 Prédiction de la teneur en carbone organique (CO) des sols par Télédétection



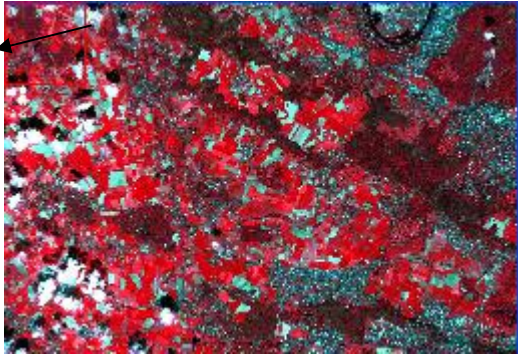
Dossier PVPA78

Outils QGIS utiles :



a) Construction du modèle de prédiction

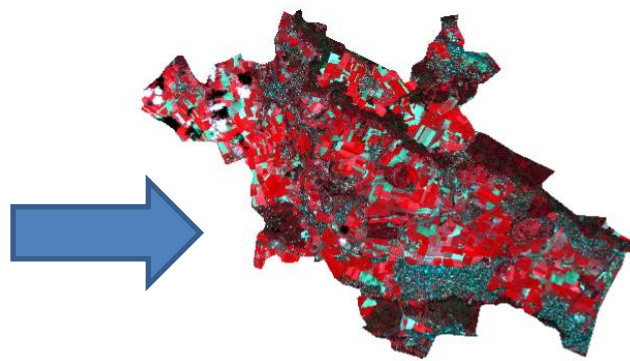
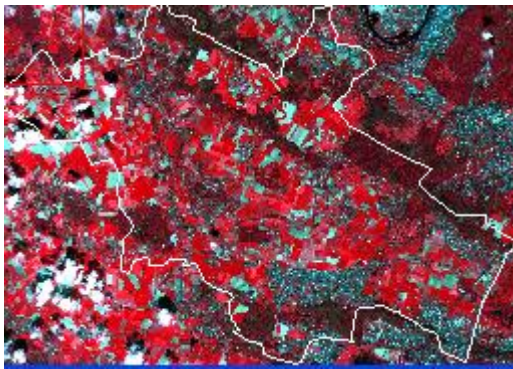
Vous allez établir, par un calcul de régression linéaire, un modèle mathématique permettant de prédire la teneur en carbone organique des sols à partir des comptes numériques de l'image spot (dans les zones de sol nu).



Ouvrir l'image Spot5 : spot5_pvpa.tif

Il s'agit d'une image spot5 du 27 avril 2010. Cette image a été re-échantillonnée à 10m de résolution. Il s'agit d'une image GeoTiff,

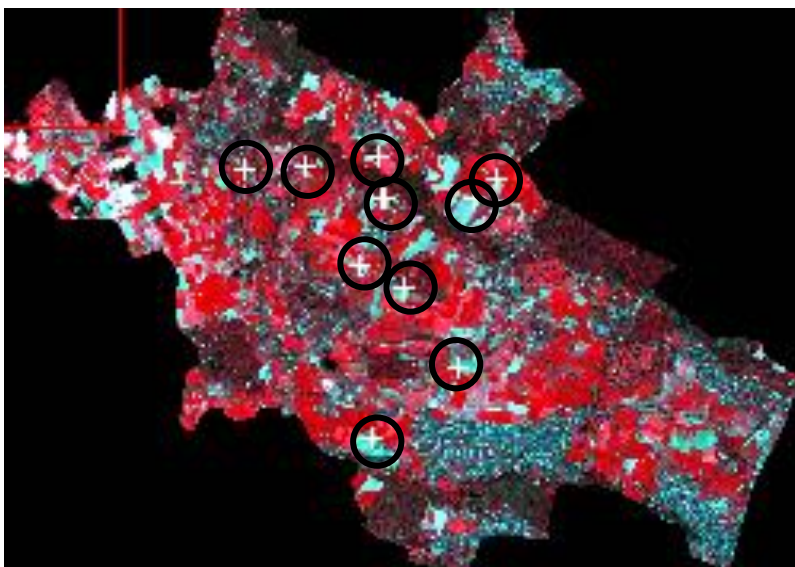
Charger le fichier de la zone d'étude au format shapefile : pvpa.shp



Masquer l'image par la zone définie par PVPA

Charger le fichier analyses_CO.shp

Il s'agit de 11 points de mesures dans des parcelles agricoles en sol nu au moment de la prise de vue spot, où ont été effectués des analyses sur des prélèvements de sol.





Regarder la table de données

	pixels	CO	radio_B1	radio_B2	radio_B3
1	05a1-1	19,100000	0,102535	0,152281	0,20012
2	20e1-1	9,530000	0,129153	0,176226	0,226965
3	13c2-1	8,430000	0,165519	0,227018	0,282366
4	01c1-1	12,300000	0,168053	0,232224	0,287903

Les teneurs en CO (carbone organique) sont exprimées en g / kg

Radio_Bx sont des réflectances mesurées sur le terrain avec un radiomètre (même bandes que spot5)



Extraire les comptes numériques de l'image spot sur les 11 points de terrain.

Les valeurs extraites de l'image dans les 3 bandes

	pixels	radio_B1	radio_B2	radio_B3	CO	SAMPLE_1	SAMPLE_2	SAMPLE_3
1	05a1-1	0,102535	0,152281	0,20012	19,100000	115	179	184
2	20e1-1	0,129153	0,176226	0,226965	9,530000	129	200	212
3	13c2-1	0,165519	0,227018	0,282366	8,430000	139	216	224
4	01c1-1	0,168053	0,232224	0,287903	12,300000	135	219	222

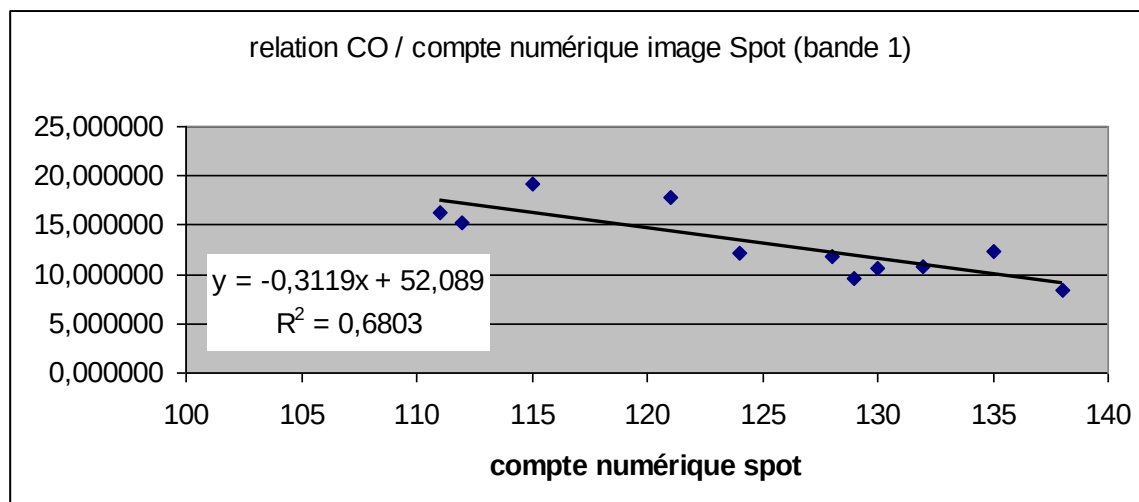
Faire un fichier dans Excel ou dans OpenOffice (ou dans R) regroupant la teneur en carbone (CO) et les comptes numériques des 11 points.

Les teneurs en CO sont exprimées en g / kg

Faire un graphique de points X,Y et Ajouter la droite de régression (courbe de tendance)

Afficher l'équation de la droite ainsi que le coefficient de Pearson.

Pour obtenir la relation CO = fonction (DN de Band1)



b) Appliquer votre équation du modèle à l'image SPOT afin de créer une carte de teneur en matière organique des sols.



Appliquer votre équation pour créer une carte du CO des sols de la PVPA



Analyse raster

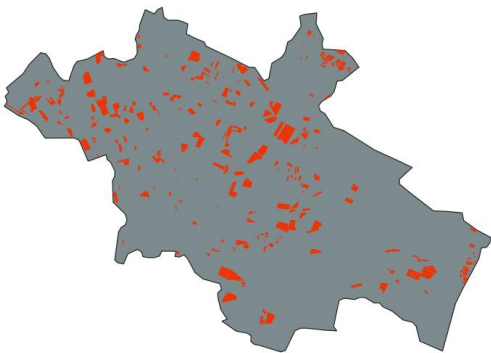


Calculatrice raster



Notre formule n'étant valable que sur sol nu, on va donc masquer la carte de CO par les parcelles agricoles (rpg).

Charger le fichier des parcelles agricoles du RPG.shp puis masquer la carte avec les parcelles RPG



Il s'agit de parcelles issues du Registre Parcellaire Graphique (RPG) des agriculteurs de la plaine de Versailles, on a sélectionné les parcelles qui étaient en sol nu au moment de la prise de vue Spot5.



Le modèle peut prédire des valeurs négatives : forcer à zéro ces valeurs

c) Validation de la prédiction



Utiliser le fichier validation_analyse_CO.shp pour valider votre prédiction.

Ce fichier contient 12 points de terrain avec leur teneur en CO, ces points ne doivent pas avoir été utilisés pour construire le modèle.

Construire une régression entre votre carte de CO prédite et les teneurs en CO mesurées sur les points de validation.

Interpréter le coefficient de Pearson (R^2) : quelle est la qualité de votre modèle ?



Calculer et discuter la RMSEP de votre prédiction :

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_p)^2}{n}}$$

Où RMSEP: erreur quadratique moyenne de la prédiction sur les données de validation

y_i : le CO mesuré

y_p : le CO prédit sur le jeu de données de validation

n : le nombre d'échantillons

d) Faire un modèle de prédiction du CO à partir de l'indice de brillance des sols

6.2 Prédire biomasse de cultures par Phénotypage automatique par drone

PHENOTYPAGE_DRONE

Il s'agit d'un essai agronomique en micro-parcelles de 5m x 1.25m de mélange de Blé et de pois, certaines parcelles sont en « pure » et d'autres en « mélange » :

Les blés : TITLIS, BERGAMO

Les pois : FLAMBO et AVIRON

Un essai INRAE (UMR GQE) sur une parcelle expérimentale de la Ferme INRAE « du Moulon » (91).

 **BLE_POIS.tif** Orthomosaïque RVB (visible) produite par imagerie drone le 25/03/2022. Vol avec un drone DJI Phantom 4 RTK à 7m de hauteur. Résolution échantillonnée à 5 mm (la résolution initiale était de 1.5 mm).

 **T.tif** Une seconde parcelle en blé (mêmes conditions)

 **micro_parcelles_pois.shp** Le découpage de l'essai BLE_POIS en micro-parcelles

 **rangs.shp** Les rangs de blé ou pois dans les micro-parcelles (7 rangs / micro-parcelle)

 **maille_20cm.shp** Découpage de chaque micro-parcelle en une grille de 20 cm de maille.

 **sample_terrain.shp** Placettes de prélèvement de la biomasse sur le terrain pour pesée des plantes au laboratoire, pour les deux parcelles « BLE_POIS » et « T »

 **WEIGHT.xlsx** Résultat des pesées de plante sur les placettes de prélèvement.



Cartographier les micro-parcelles « BLE_POIS » en 3 classes : blé pure, pois pur, et mélange blé-pois.

6.2.1 Création d'un modèle de prédiction de la biomasse des cultures de l'essai Blé / pois par régression à partir de l'orthoimage drone

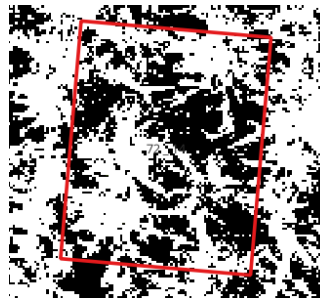
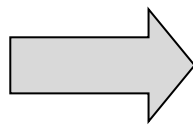


Créer une couche pour isoler la masse verte des plantes dans l'image, utiliser pour ce faire l'indice de télédétection VARI.

$$VARI = \frac{V - R}{V + R - B}$$

Avec V (vert), R (rouge) et B (bleu)

Vous seuillerez votre VARI, pour obtenir une couche binaire (vert / pas vert) par exemple avec : $VARI > 0$



Calculer la Fraction verte ou FCover pour toutes les placettes de prélèvements

La Fraction de Couverture Végétale (FCover), ou fraction verte, correspond à la fraction de sol recouverte par la végétation verte.



Analyse raster



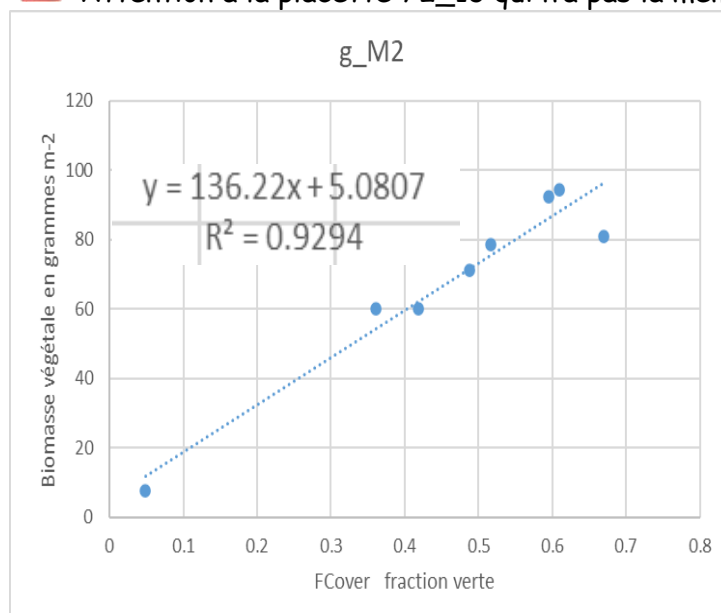
Statistiques de zone



Sous Excel établir par régression l'équation de prédiction de la biomasse en g.m^{-2} à partir de FCover.



Attention à la placette 72_13 qui n'a pas la même surface que les autres.



6.2.2 Validation du modèle sur un autre jeu de données



Validation du modèle de prédiction de la biomasse sur la seconde parcelle « T.tif »

Calculer le FCover de « T.tif » puis appliquer votre modèle précédent pour produire une couche de biomasse de la parcelle « T » et finalement calculer la RMSE sous Excel, pour évaluer l'erreur de prédiction de votre modèle.

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_p)^2}{n}}$$

Où RMSEP: erreur quadratique moyenne de la prédiction sur les données de validation

Vous calculerez aussi la RRMSE (en pourcentage) = RMSE / moyenne labo * 100

Fcover	Labo	Modèle	ecart
0.46	60.10	67.80	59.34
0.60	78.95	87.15	67.25
0.47	58.35	69.06	114.73
0.55	86.25	79.47	45.92
0.65	104.80	93.95	117.69
0.52	74.55	75.89	1.79
0.50	57.95	72.62	215.22
0.62	87.40	89.60	4.84
0.54	72.05	78.15	37.17
0.36	60.70	53.63	49.97
moyenne:	74.11		
		RMSE=	8.45
		RRMSE%=	11.40

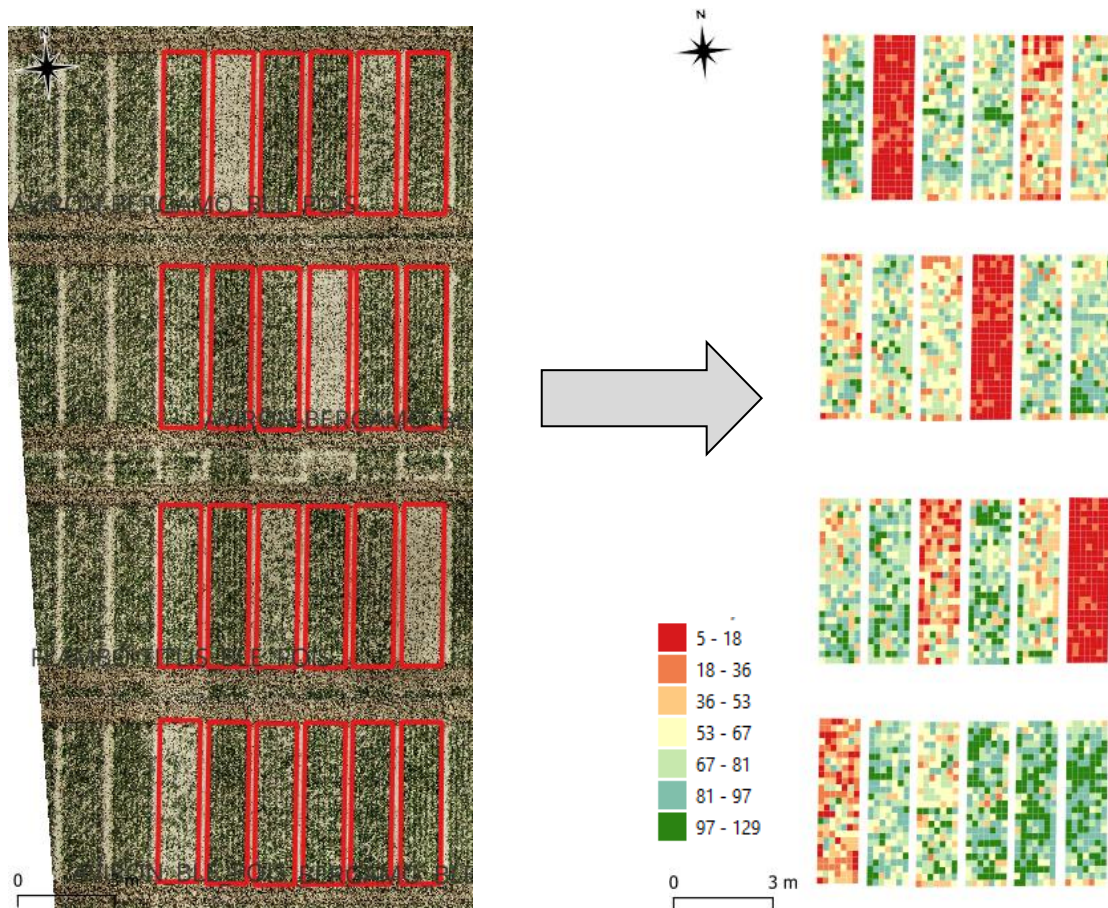


On peut en conclure, qu'après validation sur un second jeu de données (indépendant du premier qui a servi à construire l'équation modèle), l'erreur moyenne de prédiction de la biomasse en g.m⁻² à partir du FCover drone est d'environ 11%, selon le modèle précédent.

6.2.3 Application du modèle sur toute la parcelle BLE POIS



Calculer et cartographier, d'après le modèle précédent, la biomasse en g.m⁻² pour la parcelle « BLE_POIS » à l'échelle du découpage en maille de 20 centimètres.



Calculer et faire un graphique de la biomasse moyenne selon toutes les modalités de cultures de l'essai BLE_POIS (champ modalite_2)

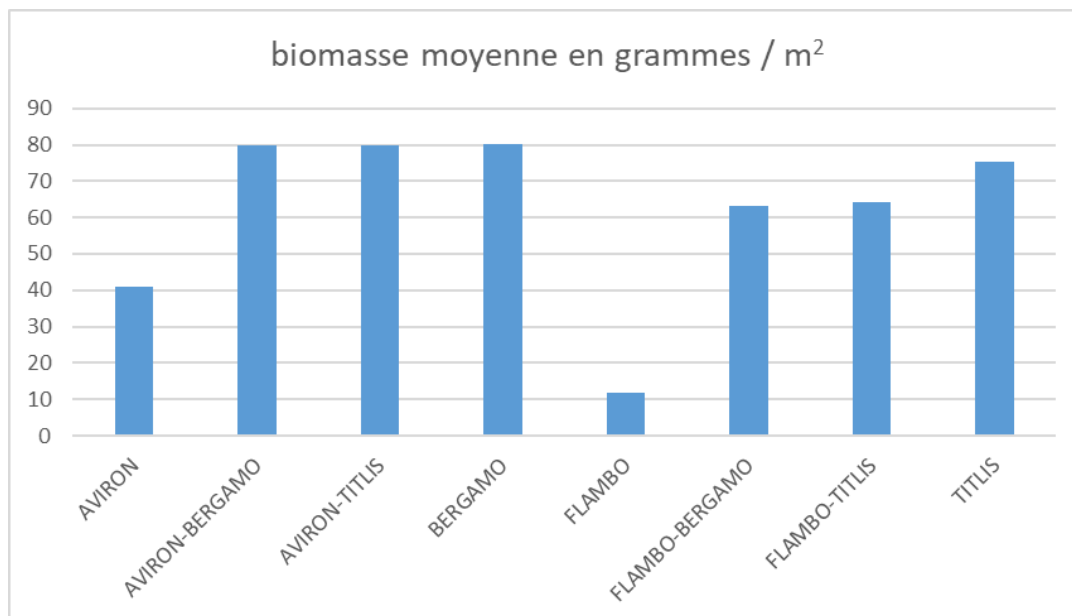


Table des matières

1. Démarrage de QGIS et téléchargement des données	3
2. Notion de composition colorée : affichage des images	3
3. Géoréférencement d'une image satellitale.....	9
4. Notion de « signature » spectrale des objets dans les images	19
4.1 Codage numérique des pixels, réflectances et comptes numériques.....	19
4.2 Signatures spectrales	21
5. Utilisation des indices de Télédétection.....	24
5.1 Indices : exemple de l'indice de végétation NDVI pour extraire une culture	24
5.2 Indices : exemple d'un indice de végétation dans le visible : VARI	24
5.3 Indices : exemple de l'indice de brillance des sols agricoles.....	25
5.4. Potentialités des images Landsat pour l'identification et la délimitation des prairies humides du département de l'Aube par indice d'humidité.	25
6. Approches par régression linéaire entre radiométrie et variable d'intérêt	27
6.1 Prédiction de la teneur en carbone organique (CO) des sols par Télédétection	27
a) Construction du modèle de prédiction	27
b) Appliquer votre équation du modèle à l'image SPOT afin de créer une carte de teneur en matière organique des sols.....	30
c) Validation de la prédiction	30
d) Faire un modèle de prédiction du CO à partir de l'indice de brillance des sols.....	31
6.2 Prédire biomasse de cultures par Phénotypage automatique par drone	31
6.2.1 Création d'un modèle de prédiction de la biomasse des cultures de l'essai Blé / pois par régression à partir de l'orthoimage drone.....	32
6.2.2 Validation du modèle sur un autre jeu de données	33
6.2.3 Application du modèle sur toute la parcelle BLE_POIS.....	33