



Tutoriel QGIS : IV. Géoréférencement

Export PDF de mai 2021



Ceci est un export PDF du tutoriel QGIS 3.22 'Białowieża' disponible ici : <https://ouvrir.passages.cnrs.fr/tutoqgis/>

Plus d'informations sur cette page : https://ouvrir.passages.cnrs.fr/tutoqgis/en_savoir_plus.php.

Ce tutoriel est sous licence Creative Commons : vous êtes autorisé à le partager et l'adapter, pour toute utilisation y compris commerciale, à condition de citer l'auteur : UMR 6554 LETG/UMR 5319 Passages, <https://ouvrir.passages.cnrs.fr/tutoqgis/>, et de partager votre travail sous les mêmes conditions. Le texte complet de la licence est disponible ici : <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.fr>

Sommaire

IV. Géoréférencement	3
IV.1 Principe du géoréférencement	4
Qu'est-ce que le géoréférencement ?	4
Géoréférencer par rapport à quoi ? Deux méthodes	4
En se basant sur les informations contenues dans l'image	4
En se basant sur des informations contenues dans une autre couche	4
IV.2 Géoréférencement : les préliminaires	6
Objectif	6
Découverte de l'image à caler	6
IV.3 Points de calage : avec un carroyage	7
Création du premier point	7
Quelques astuces pour créer les points suivants	9
IV.4 Paramétrage du géoréférencement	11
Type de transformation, ou comment calculer les nouvelles coordonnées des points ?	11
Qu'est-ce qu'une transformation ?	11
Quelques types de transformations	12
Choisir une transformation	12
Rééchantillonnage, ou comment calculer les valeurs des pixels ?	12
Mode de compression utilisé pour la création de la nouvelle image	13
Raster en sortie et SCR	13
Raster de sortie	13
SCR cible	13
Les autres paramètres	13
Enregistrer les points de contrôle	14
Transparence	14
Définir la résolution de la cible	14
Carte et rapport PDF	14
Charger directement le raster dans QGIS	14
Une fois tous les paramètres choisis...	14
IV.5 Lancer le géoréférencement	15
Vérification avant calage : les erreurs	15
Erreur locale : en chaque point de contrôle	15
Erreur globale : Erreur Quadratique Moyenne	15
Lancement du géoréférencement	16
Vérification de la précision du calage	16
Lecture de la carte et du rapport PDF	16
Vérification par superposition d'une autre couche	16
IV.6 Points de calage : en se basant sur une couche de référence	18
Ajout d'un fonds OpenStreetMap	18
Zoom sur la zone d'étude avec l'extension Nominatim Locator Filter	19
Création des points de calage	20



IV. Géoréférencement

Le géoréférencement, ou calage, consiste à donner des coordonnées à une image.

Notions abordées :

- Principe du géoréférencement
- Points de calage
- Types de transformation
- Erreur Moyenne Quadratique (EMQ)
- Rééchantillonnage
- Vérification du géoréférencement

Les données pour cette partie ainsi qu'une version PDF du tutoriel sont accessibles dans la rubrique [téléchargement](#).



IV.1 Principe du géoréférencement

Qu'est-ce que le géoréférencement ?

Géoréférencer par rapport à quoi ? Deux méthodes

En se basant sur les informations contenues dans l'image

En se basant sur des informations contenues dans une autre couche

Qu'est-ce que le géoréférencement ?

Les données SIG que nous avons utilisées jusqu'ici ont toutes des coordonnées, ce qui nous permet de les superposer correctement dans une logiciel SIG. A l'inverse, dans le cas d'une image simplement scannée, une carte ancienne par exemple, le logiciel ne possède pas d'informations de coordonnées ; il placera cette image simplement en considérant que le coin en haut à gauche a les coordonnées 0,0.

Le géoréférencement, ou calage, consiste à attribuer des coordonnées à une image. Cette image pourra ensuite être superposée à d'autres couches dans un logiciel SIG, et servir par exemple de fond de carte ou être [numérisée](#). Nous traiterons uniquement du cas des données raster (il existe d'autres méthodes pour les données vecteur qui ne seront pas abordées ici).

Lors du géoréférencement, il faudra aussi préciser dans quel SCR est notre image.

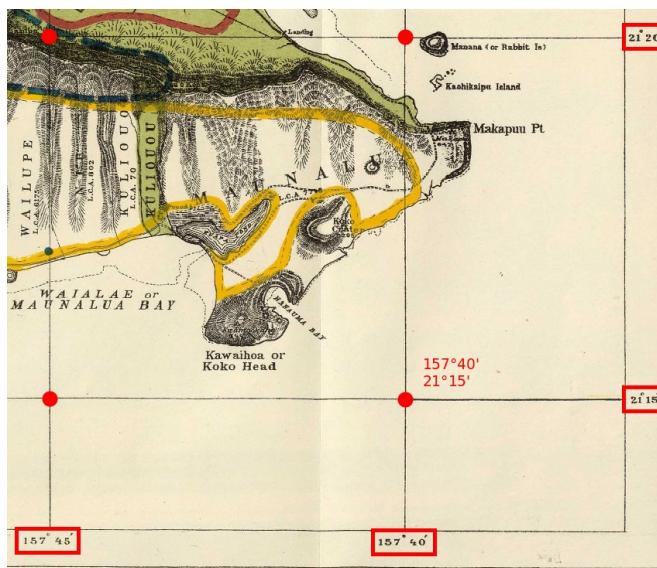
Géoréférencer par rapport à quoi ? Deux méthodes

Pour donner des coordonnées à une image, il est possible de se baser soit sur des informations contenues directement dans l'image, par exemple si l'image est une carte avec un carroyage, ou soit sur une autre couche déjà existante et correctement calée (vecteur ou raster).

En se basant sur les informations contenues dans l'image

Si on connaît précisément les coordonnées de quelques points sur l'image, grâce à un carroyage avec des amorce de coordonnées, on va pouvoir se servir de ces coordonnées pour géoréférencer l'image.

Il faut néanmoins connaître le système de coordonnées utilisé, ce qui peut nécessiter des recherches.

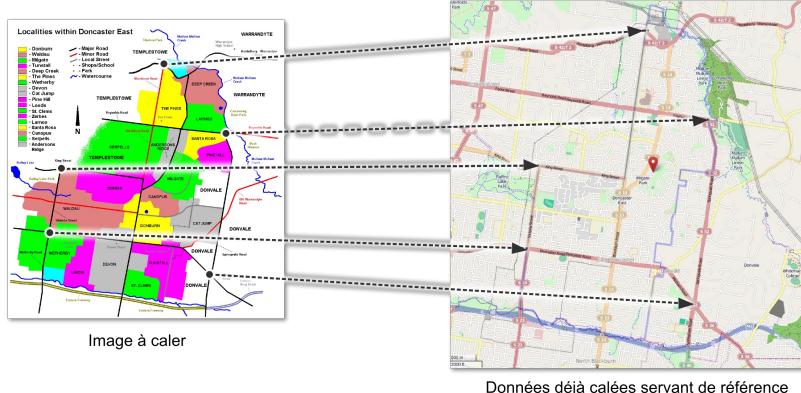


Calage grâce à un carroyage avec amorce de coordonnées (Source de l'image : [Wikimedia](#) [↗], domaine public)

En se basant sur des informations contenues dans une autre couche

Si l'image ne possède pas d'indications de coordonnées, il va falloir utiliser une couche déjà géoréférencée possédant une zone commune avec l'image à géoréférencer. On pourra alors indiquer que tel point sur l'image correspond à tel point sur la couche déjà géoréférencée. Cette méthode sera employée pour caler des photographies aériennes par exemple.

La carte résultante aura le même système de coordonnées que la couche de référence. La précision du calage dépend alors notamment de la précision de la couche de référence.



Calage grâce à une couche de référence (Source de l'image à caler : Wikimedia [2], domaine public, source des données de référence OpenStreetMap [3] © les contributeurs d'OpenStreetMap).

Dans l'illustration ci-dessus, l'image de gauche est géoréférencée en utilisant le fond de carte OpenStreetMap [3]. Des points que l'on peut facilement identifier sur les deux images (par exemple des intersections de routes) servent de points de calage.

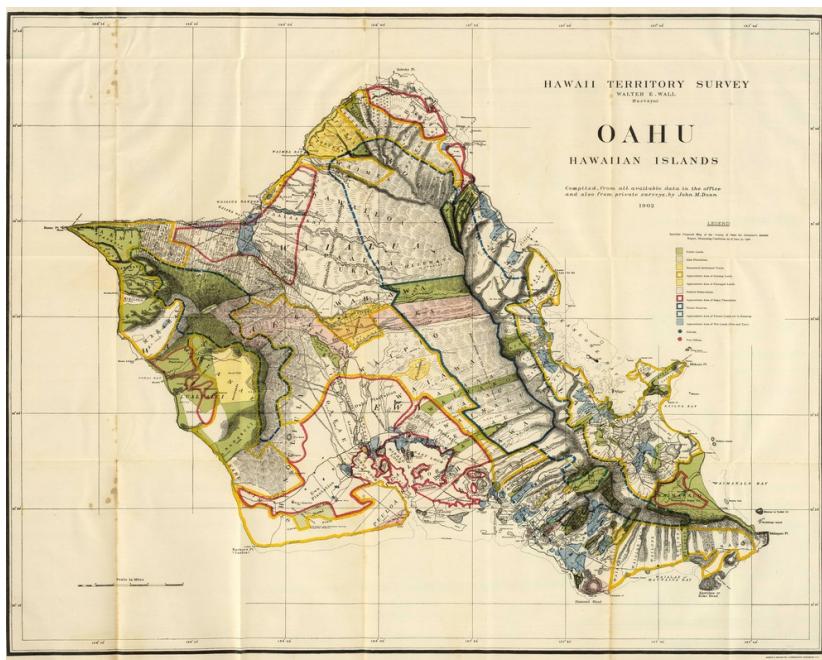
IV.2 Géoréférencement : les préliminaires

Objectif

Découverte de l'image à caler

Objectif

Notre but sera ici de caler une carte de l'île d'Oahu (Hawaii) de 1902 (source : [Wikimedia](#) [↗]).



Une fois cette carte calée, vous pourrez la superposer à d'autres données dans QGIS.

La première étape consiste à prendre connaissance de cette carte, et à vérifier que le module de géoréférencement de QGIS soit activé.

Découverte de l'image à caler

Où se situe l'île d'Oahu? Rendez-vous par exemple sur Wikipedia pour le savoir : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Oahu> [↗].

- Quelles sont les coordonnées de l'île d'Oahu ? Dans quel SCR sont mesurées ces coordonnées ?

L'île est située approximativement aux coordonnées 21° 28' Nord et 157° 59' Ouest (SCR WGS84).

A partir de l'explorateur de fichiers de votre ordinateur, ouvrez l'image [Oahu_Hawaiian_Islands_1906.jpg](#) située dans le dossier [TutoQGIS_04_Georef/donnees](#).

- Pouvez-vous dire dans quel système sont mesurées les coordonnées de cette carte ?

Aucune mention d'un SCR n'est faite sur cette carte. Nous pouvons néanmoins être sûr qu'il s'agit d'un système géographique (non projeté) puisque les coordonnées sont exprimées en degrés.

Connaître quel système a été utilisé ici nécessiterait des recherches, en se basant sur la date de la carte et la zone couverte. Nous allons supposer ici, pour les besoins de l'exercice, que les coordonnées sont en WGS84 (ce qui n'est évidemment pas le cas, ce système datant de 1984). Nous vérifierons que ce choix nous donne une précision acceptable.

IV.3 Points de calage : avec un carroyage

Création du premier point

Quelques astuces pour créer les points suivants

Nous allons créer ici des points de calage, c'est-à-dire attribuer leurs coordonnées à plusieurs points de l'image.

Pour ce faire, nous utiliserons la [première méthode décrite dans la partie IV.1](#) : nous nous baserons sur le carroyage de cette carte pour créer les points de calage (la deuxième méthode sera abordée dans la [partie IV.6](#)).

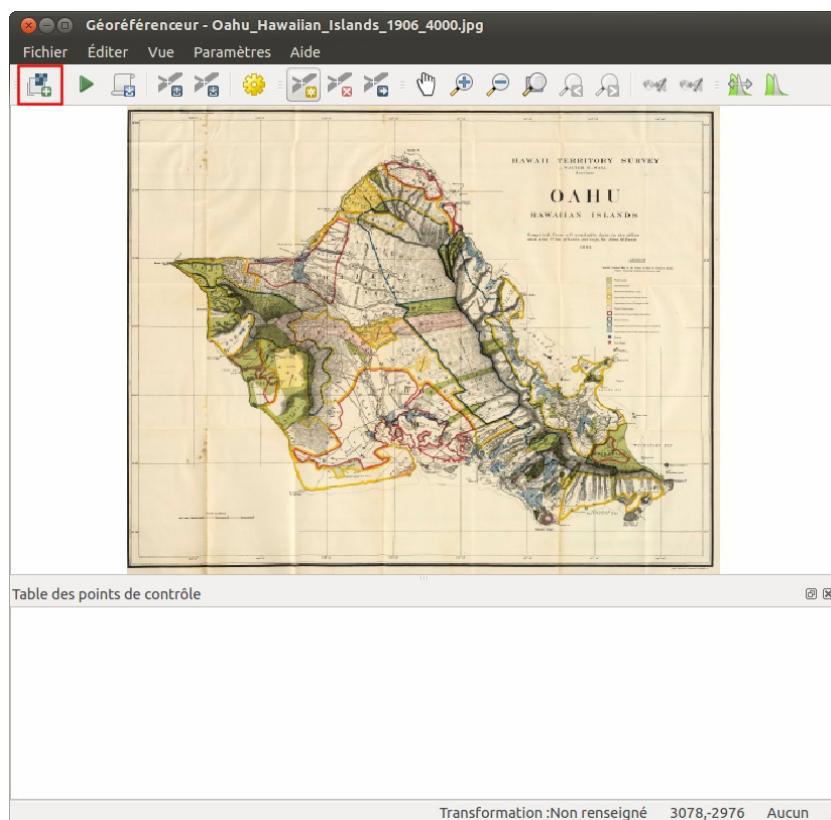
Création du premier point

Lancez QGIS ou créez un nouveau projet, et assurez-vous que le [SCR de ce projet](#) soit le **WGS84 EPSG 4326**.

Il est inutile d'ajouter la carte d'Oahu à QGIS (si vous le faites néanmoins, profitez-en pour observer qu'en l'absence d'informations de localisation pour cette image, QGIS positionne son coin supérieur gauche aux coordonnées (0,0)).



Ouvrez la fenêtre du géoréférencement : Menu Raster → Géoréférencer...



*Il est possible d'afficher le géoréférencier comme une fenêtre à part ou ancrée. Pour changer de mode, dans la fenêtre du géoréférencier **menu Paramètres → Configurer le géoréférencier...**, cochez ou décochez la case **Afficher la fenêtre de géoréférencement dans la fenêtre principale***



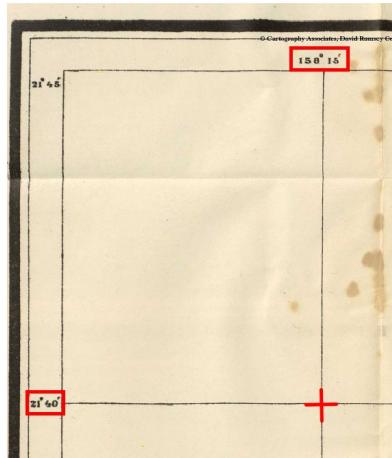
Dans cette fenêtre, ajoutez au géoréférencier l'image à caler en cliquant sur l'icône **Ouvrir un raster**, ou bien menu Fichier → Ouvrir raster... .

Sélectionnez la carte de l'île d'Oahu : fichier [Oahu_Hawaiian_Islands_1906.jpg](#).

Selon votre version de QGIS, une fenêtre peut s'ouvrir pour demander le SCR de l'image ; puisque nous avons décidé de partir du principe que les coordonnées de cette carte étaient en WGS84, choisissez ce SCR.

La carte s'affiche dans la fenêtre du géoréférencier.

Il s'agit maintenant de renseigner les coordonnées de plusieurs points, en se basant sur les indications de la carte. Vous pouvez par exemple commencer par le point en haut à gauche :



Vérifiez que l'icône **Ajouter un point** soit bien sélectionnée et cliquez à l'intersection des deux lignes du carroyage :

Saisir les coordonnées de la carte

Entrez des coordonnées X et Y (DMS (dd mm ss.ss), DD (dd.dd) ou coordonnées projetées (mmmm.mm)) qui correspondent avec le point sélectionné sur l'image. Éventuellement, cliquez sur le bouton du crayon et

X / Est

Y / Nord

SCR du Projet: EPSG:4326 - WGS 84

Cacher automatiquement la fenêtre de géoréférencement

▶ Comment saisir les coordonnées de ce point ?

Ce point est situé aux coordonnées -158° 15' Est (longitude négative car le point est à l'ouest du méridien de Greenwich) et 21° 40' Nord (latitude positive car le point est au Nord de l'équateur).

QGIS propose de saisir les coordonnées en degrés minutes secondes sous la forme dd mm ss.ss. Ici, nous avons juste des degrés et des minutes : le point a donc pour coordonnées **-158 15** Est et **21 40** Nord.

Saisir les coordonnées de la carte

Entrez des coordonnées X et Y (DMS (dd mm ss.ss), DD (dd.dd) ou coordonnées projetées (mmmm.mm)) qui correspondent avec le point sélectionné sur l'image. Éventuellement, cliquez sur le bouton du crayon et

X / Est

Y / Nord

SCR du Projet: EPSG:4326 - WGS 84

Cacher automatiquement la fenêtre de géoréférencement

Depuis la version 3.22, le choix du SCR se fait directement dans cette fenêtre de saisie d'un point. Vérifiez que le SCR sélectionné soit bien le WGS84, puis cliquez sur **OK**.

Le point apparaît sous forme d'une ligne dans la table des points de contrôle, sous la carte dans la fenêtre géoréférenceur :

Table des points de contrôle							
Activé	ID	Source X	Source Y	Destination X	Destination Y	dX(pixels)	dY(pixels)
✓	0	478.580688	-610.879060	-158.250000	21.666667	n/a	n/a

Que signifient les différentes colonnes de cette table ?

- **Visible** : indique si le point sera pris en compte ou non pour le géoréférencement. Permet de ne pas prendre en compte certains points qui semblent apporter trop d'erreurs, tout en les gardant en mémoire.
- **ID** : identifiant du point. Peut aider à repérer de quel point il s'agit sur la carte, dans le fenêtre du géoréférenceur comme dans celle de QGIS.
- **Source X et Y** : coordonnées du point dans l'image non géoréférencée, c'est-à-dire en considérant que le pixel en haut à gauche de l'image a pour coordonnées 0,0.
- **Destination X et Y** : les coordonnées que l'on souhaite faire prendre à ce point, exprimées dans le SCR choisi précédemment. Ces coordonnées sont en degrés décimaux (ici, -158°15' a été converti en -158,25 degrés décimaux).
- **dX (pixels) et dY (pixels)** : la différence entre les coordonnées qu'on souhaiterait voir prendre le point (dstX et dstY) et les coordonnées que

prendra effectivement le point après le géoréférencement. En effet, en fonction du type de transformation choisi et du nombre de points de calage, il n'est pas toujours possible de faire coïncider exactement les points avec les coordonnées souhaitées.

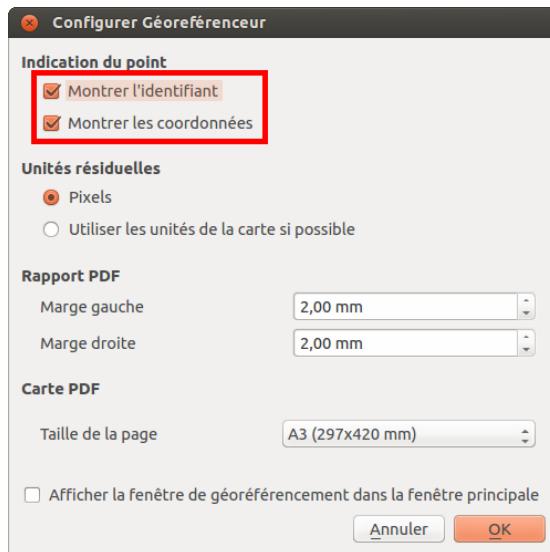
- **Résidu (pixels)** : l'erreur associée à ce point, calculée à partir de $dX[\text{pixels}]$ et $dY[\text{pixels}]$. Cette erreur est égale à la racine de la somme des carrés de $dX[\text{pixels}]$ et $dY[\text{pixels}]$, soit :
$$\sqrt{(dX[\text{pixels}]^2 + dY[\text{pixels}]^2)}$$

Dans notre table, les colonnes $dX[\text{pixels}]$, $dY[\text{pixels}]$ et $\text{residual}[\text{pixels}]$ ne sont pas encore remplies, car nous n'avons pas encore défini le type de **transformation** à effectuer lors du géoréférencement. Cette notion sera abordée dans la [partie suivante](#). En attendant, continuons à ajouter des points de calage pour en avoir par exemple six.

Quelques astuces pour créer les points suivants

Procédez de la même manière pour rajouter 5 autres points de calage. Faites en sorte que ces points soient bien répartis sur l'image.

Pour visualiser les identifiants et/ou les coordonnées des points sur la carte du géoréférenceur : Menu Paramètres → Configurer le géoréférencEUR :



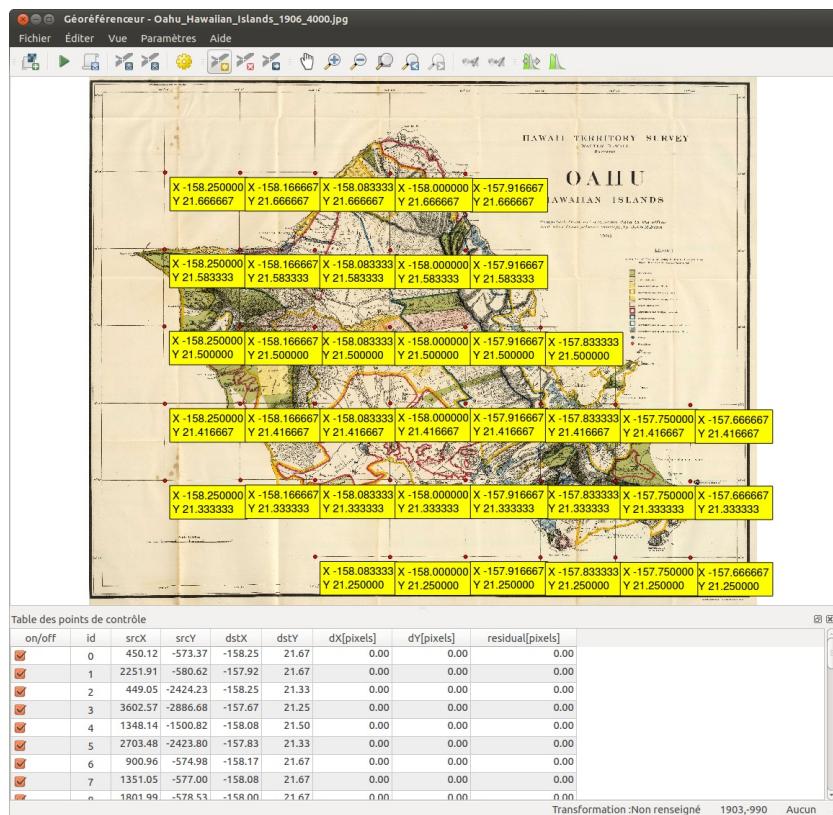
 Si vous faites une erreur, vous pouvez supprimer un point en cliquant sur l'icône **Effacer un point**, puis sur le point à effacer.

 Vous pouvez également déplacer un point déjà créé en cliquant sur l'icône **Deplacer les points de contrôle**, puis en faisant glisser le point à déplacer.

 Une fois vos points créés, vous pouvez les sauvegarder au moyen du menu Fichier → Enregistrer les points de contrôle sous... ou bien en cliquant sur l'icône correspondante.

Cette manipulation crée un fichier avec l'extension .POINTS. Par défaut, ce fichier aura le même nom et sera dans le même dossier que l'image que vous êtes en train de caler. Ces points de calage pourront être chargés dans le géoréférencEUR au moyen du **menu Fichier → Charger les points de contrôle....**

Voici à quoi ressemble la fenêtre du géoréférencEUR une fois tous les points de calage correspondant à des intersections du carroyage renseignés :



Vous n'êtes pas obligé de renseigner autant de points ! Six suffiront pour notre calage.

Les points qui serviront à caler notre image sont maintenant créés. Comment faire pour utiliser ces points pour caler notre image ?

IV.4 Paramétrage du géoréférencement

Type de transformation, ou comment calculer les nouvelles coordonnées des points ?

Qu'est-ce qu'une transformation ?

Quelques types de transformations

Choisir une transformation

Rééchantillonnage, ou comment calculer les valeurs des pixels ?

Mode de compression utilisé pour la création de la nouvelle image

Raster en sortie et SCR

Raster de sortie

SCR cible

Les autres paramètres

Enregistrer les points de contrôle

Transparence

Définir la résolution de la cible

Carte et rapport PDF

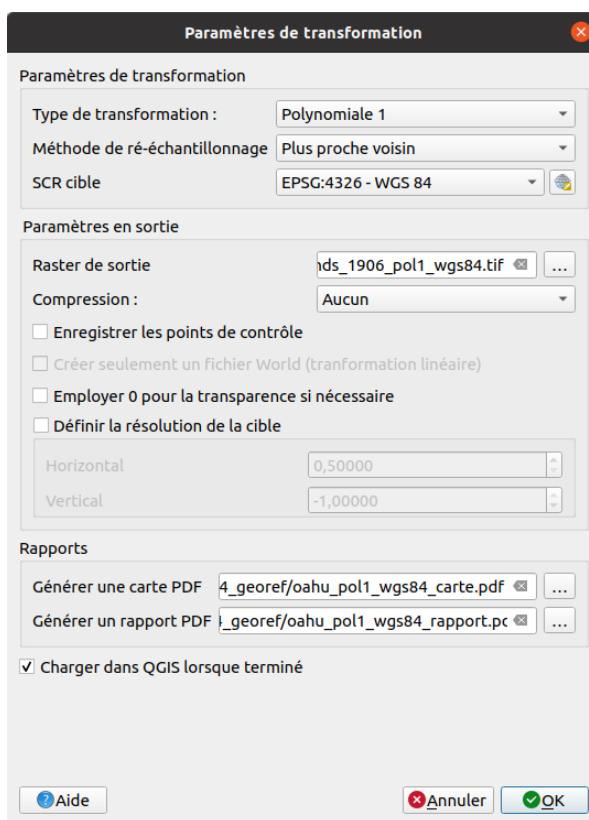
Charger directement le raster dans QGIS

Une fois tous les paramètres choisis...

Avant de pouvoir procéder au géoréférencement proprement dit, il va nous falloir définir plusieurs paramètres.



Ces paramètres sont accessibles dans le menu Paramètres → Paramètres de transformation ou bien en cliquant sur l'icône correspondante.



Nous allons passer en revue ces différents paramètres.

Type de transformation, ou comment calculer les nouvelles coordonnées des points ?

Qu'est-ce qu'une transformation ?

Lors du calage, l'image subit une transformation, afin de faire coïncider au maximum les points de départ avec les coordonnées spécifiées par l'utilisateur. Une transformation est en fait une formule mathématique transformant les coordonnées de départ vers les coordonnées voulues.

Il existe divers types de transformations, adaptées à des usages différents. Chaque transformation, si on l'utilise avec un nombre de points de calage supérieur à son minimum, renverra une erreur correspondant à la différence entre les coordonnées "idéales" voulues par l'utilisateur et les coordonnées effectivement calculées lors de la transformation (erreur résiduelle **residual[pixels]** de la table des points de contrôle, voir plus haut).



Quelques types de transformations

QGIS permet les transformations suivantes :

- **linéaire** (2 points minimum) : type le plus simple, ne déforme pas le raster. Cette transformation est rarement suffisante pour des images scannées.
- **Helmer** (2 points minimum) : cas particulier de transformation polynomiale d'ordre 1.
- **transformation polynomiale d'ordre 1**, ou transformation affine (3 points minimum) : elle préserve la colinéarité (3 points alignés le resteront) et permet seulement changement d'échelle, translation et rotation.
- **transformation polynomiale d'ordre 2** (6 points minimum) : permet une distorsion du raster.
- **transformation polynomiale d'ordre 3** (10 points minimum) : le degré de distorsion possible est plus important que pour une transformation d'ordre 2.
- **Thin Plate Spline (TPS)** (1 point minimum) : méthode récente, permettant de prendre en compte des déformations locales. Cette transformation est utile lorsqu'on dispose d'originaux de très mauvaise qualité.
- **projective** (4 points minimum) : une des transformations les plus complexes, qui ne conserve pas le parallélisme. Un carré sera transformé en quadrilatère.

Choisir une transformation

Quelques éléments vous ont été donnés dans la description des types de transformation pouvant vous aider à choisir l'une ou l'autre transformation. En pratique, le choix est souvent difficile et requiert de tester plusieurs transformations et de les comparer si l'on recherche une bonne précision.

Ici, nous nous bornerons à choisir une transformation simple et rapide.

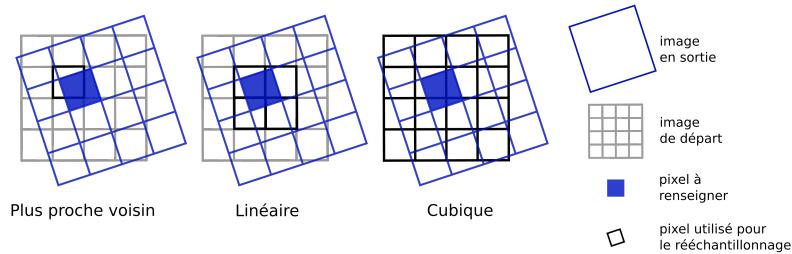
Sélectionnez la transformation **polynomiale 1** dans la liste déroulante de la fenêtre de paramétrage.

Type de transformation :	Polynomiale 1
--------------------------	---------------

Rééchantillonnage, ou comment calculer les valeurs des pixels ?

Si on utilise une transformation qui déforme le raster d'origine (transformation polynomiale d'ordre supérieur à 1, ou transformation de type Spline par exemple), la valeur (couleur) de chaque pixel du nouveau raster sera déterminée par un calcul en se basant sur le raster original.

Cette valeur sera différente selon la méthode de rééchantillonnage choisie. QGIS, comme d'autres logiciels SIG, propose trois méthodes de rééchantillonnage :



- **Plus proche voisin** : le nouveau pixel prend la valeur du pixel de l'ancien raster le plus proche. Cette méthode est la plus rapide, et est utilisée principalement pour des données catégorisées (occupation du sol par exemple) puisqu'elle ne crée pas de nouvelles valeurs.
- **Linéaire** : la valeur du nouveau pixel est déterminée à partir des valeurs des 4 pixels les plus proches. Cette méthode est utilisée pour des données continues et permet un lissage du raster.
- **Cubique** : la valeur du nouveau pixel est déterminée à partir des valeurs des 16 pixels les plus proches. Ceci provoque moins de distorsion géométrique de l'image mais nécessite un temps de calcul relativement long. Par ailleurs, il y a plus de possibilités d'obtenir avec cette méthode de nouvelles valeurs de pixel par rapport aux valeurs de départ.

*Il est aussi possible de choisir les méthodes **Cubic Spline** et **Lanczos**, mais au-delà du fait que ce sont des méthodes plus complexes que les précédentes, je ne saurais pas les expliquer et encore moins leurs avantages et inconvénients ! A vous de tester...*

Le choix d'une méthode de rééchantillonnage a surtout une influence dans le cas où la taille des pixels est importante par rapport à la taille des objets qui seront étudiés sur l'image, par exemple une photo aérienne où chaque maison est constituée de seulement quelques pixels.

Dans notre cas (carte scannée avec une bonne résolution), le choix du type de rééchantillonnage influencera peu le résultat.

Ici, nous allons donc choisir la méthode la plus simple et la plus rapide : **plus proche voisin**.

Mode de compression utilisé pour la création de la nouvelle image

La compression permet d'obtenir un raster moins volumineux, mais peut provoquer une perte de qualité. Une image compressée peut par ailleurs être illisible par certains logiciels.

QGIS propose les méthodes suivantes :

- **Aucun** : pas de compression
- **LZW** : utilisé pour les images au format GIF et TIF. Assez largement utilisé, permet une compression jusqu'au 1:10
- **PACKBITS** : offre une compression moindre que la méthode LZW, mais ce format est plus courant
- **DEFLATE** : similaire à LZW, mais principalement prise en charge par les logiciels Adobe

Notre image de base étant peu volumineuse, nous allons choisir le type **Aucun**.

Compression :	Aucun
---------------	--------------

Raster en sortie et SCR

Raster de sortie

Spécifiez ici le nom et l'emplacement de l'image géoréférencée qui sera créée, en cliquant sur l'icône à droite de la ligne **Raster de sortie**.

Raster de sortie	_04/Oahu_Hawaiian_Islands_1906_pol1_wgs84.tif	
------------------	--	--

Choisissez à quel endroit vous souhaitez créer cette couche, et donnez-lui un nom, par exemple **Oahu_Hawaiian_Islands_1906_pol1_wgs84.tif**.

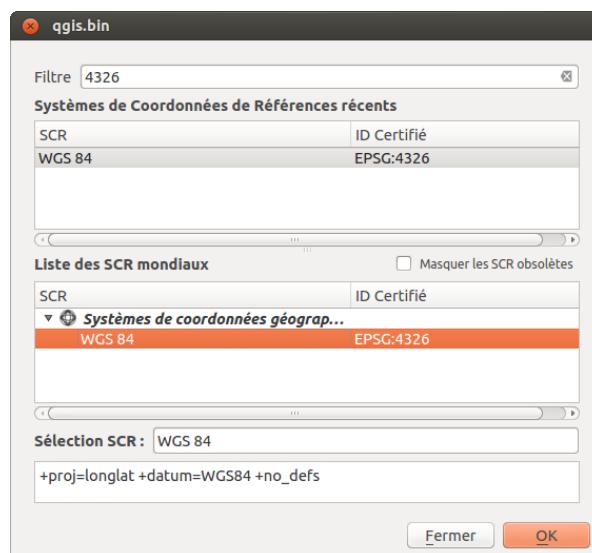
SCR cible

Comme décidé en partie [précédemment](#), nous allons partir du principe que les coordonnées de cette carte sont exprimées dans un système proche du WGS84.

Cliquez sur l'icône à droite de la ligne **SCR cible**, ou bien utilisez la liste déroulante pour choisir directement le SCR.

SCR cible :	SCR sélectionné (EPSG:4326)	
-------------	------------------------------------	--

Choisissez le SCR **WGS 84, code EPSG 4326**, en vous aidant éventuellement de la partie filtre.



Les autres paramètres

Enregistrer les points de contrôle

Si vous n'avez pas déjà enregistré les points de contrôle, ça peut être une bonne idée de cocher cette case afin de sauvegarder votre travail, et de garder trace des points utilisés, pour tester ensuite avec une autre transformation par exemple.

Transparence

Employer 0 pour la transparence : cette option est utile principalement pour les photographies aériennes ou satellites et permet de ne pas visualiser les pixels noirs (bords de l'image), ce qui serait gênant dans notre cas.

Laissez cette case décochée.

Employer 0 pour la transparence si nécessaire

Définir la résolution de la cible

Laisser cette case décochée pour que l'image créée ait la même résolution que l'image de départ.

Définir la résolution de la cible

Carte et rapport PDF

La carte PDF permettra de visualiser le décalage qu'aura subi chaque point de contrôle. Le rapport PDF comportera notamment les coordonnées et erreurs pour chaque point.

Cliquez sur les icônes à droite des lignes carte PDF et rapport PDF pour spécifier un nom (à votre convenance) et l'emplacement (par exemple dans le même dossier que l'image de départ) pour la carte et le rapport qui seront créés.

Générer une carte PDF :

Générer un rapport PDF :

Charger directement le raster dans QGIS

Charger dans QGIS lorsque terminé : cocher cette case pour que le nouveau raster soit chargé automatiquement dans QGIS une fois le géoréférencement effectué.

Charger dans QGIS lorsque terminé

Une fois tous les paramètres choisis...

...Cliquez sur OK : les paramètres sont sauvegardés... Mais rien ne semble se passer. Rendez-vous dans la partie suivante pour l'étape finale !



IV.5 Lancer le géoréférencement

Vérification avant calage : les erreurs

Erreur locale : en chaque point de contrôle

Erreur globale : Erreur Quadratique Moyenne

Lancement du géoréférencement

Vérification de la précision du calage

Lecture de la carte et du rapport PDF

Vérification par superposition d'une autre couche

Vérification avant calage : les erreurs

Erreur locale : en chaque point de contrôle

Maintenant que le type de transformation est renseigné, les erreurs pour chaque pixel ont été calculées dans la table des points de contrôle :

Table des points de contrôle								
Visible	ID	Source X	Source Y	Destination X	Destination Y	dX(pixels)	dY (pixels)	Résidu (pixels)
<input checked="" type="checkbox"/>	0	450,115	-573,368	-158,25	21,6667	-0,820767	2,76686	2,88604
<input checked="" type="checkbox"/>	1	2251,91	-580,62	-157,917	21,6667	-0,270135	-0,265357	0,378666
<input checked="" type="checkbox"/>	2	449,049	-2424,23	-158,25	21,3333	0,40915	-4,68333	4,70116
<input checked="" type="checkbox"/>	3	3602,57	-2886,68	-157,667	21,25	1,04032	1,1061	1,51846
<input checked="" type="checkbox"/>	4	1348,14	-1500,82	-158,083	21,5	2,41588	-0,874543	2,5693
<input checked="" type="checkbox"/>	5	2703,48	-2423,8	-157,833	21,3333	-1,08895	1,01853	1,49105
<input checked="" type="checkbox"/>	6	900,964	-574,977	-158,167	21,6667	1,08158	2,21276	2,46294

Comme indiqué dans la partie IV.3.1 :

- les colonnes **dX (pixels)** et **dY (pixels)** correspondent à la différence entre les coordonnées qu'on souhaiterait voir prendre le point (dstX et dstY) et les coordonnées que prendra effectivement le point après le géoréférencement. Cette valeur variera selon le type de transformation choisie.
- La colonne **Résidu (pixels)** correspond à l'erreur associée à ce point, calculée à partir de dX[pixels] et dY[pixels]. Cette erreur est égale à la racine de la somme des carrés de dX[pixels] et dY[pixels], soit :
 $\sqrt{(\text{dX}[pixels]^2 + \text{dY}[pixels]^2)}$

Classez les points par erreur décroissante, en cliquant deux fois sur l'en-tête de colonne Résidu (pixels).

Avez-vous dans votre table des points avec des valeurs d'erreur très importantes par rapport aux autres ? Pouvez-vous en trouver la cause ? Vous pouvez décocher les points aberrants dans la colonne on/off.

Observez que, quand vous décochez un point de contrôle, son erreur résiduelle devient plus grande que lorsqu'il était coché, ce qui traduit une moins bonne précision de calage dans la zone autour de ce point. Il est fortement conseillé, lorsqu'on désactive un point, de le remplacer par un autre point situé dans le voisinage de matière à éviter des zones non prises en compte dans le calage et pour lesquelles on ne peut avoir de résidu, donc d'indicateur de qualité du calage.

Vous ne devriez normalement pas obtenir des erreurs résiduelles supérieures à 10 ; si nécessaire, supprimez et recréez des points de calage.

Erreur globale : Erreur Quadratique Moyenne

Tout en bas de la table des points de contrôle est indiqué le type de transformation utilisée (polynomiale 1 dans notre cas) et l'erreur moyenne :

<input checked="" type="checkbox"/>	4	1540,14	-1500,02	-150,003	21,5	2,41588	-0,014343	2,5693
<input checked="" type="checkbox"/>	5	2703,48	-2423,8	-157,833	21,3333	-1,08895	1,01853	1,49105
<input checked="" type="checkbox"/>	6	900,964	-574,977	-158,167	21,6667	-1,08158	2,21276	2,46294

Transformation : Polynomiale 1 Erreur moyenne 2.3294

En plus de l'erreur résiduelle calculée par pixel, la transformation renvoie une erreur globale appelée **Erreur Quadratique Moyenne (EMQ)** ou bien Root Mean Square (RMS). Cette erreur est calculée de la manière suivante :

$$\text{EMQ} = \sqrt{(\text{Somme } \text{dX}[pixels]^2 + \text{Somme } \text{dY}[pixels]^2) / (\text{nb points} - \text{nb points min})}$$

Vous pouvez donc constater que si le nombre de points utilisés est égal au nombre de points minimum associé à la transformation, l'EMQ est considérée comme nulle. Une erreur nulle n'est donc pas forcément révélatrice d'un calage précis...

Vérifiez que votre EMQ soit inférieure à 5. Si les erreurs de chacun de vos points sont suffisamment faibles, comme vérifié [plus haut](#), cela devrait être le cas.

Vérifiez ce qui se passe si vous décochez tous les points (colonne on/off) sauf trois. Cochez un quatrième point. Cochez à nouveau tous les points, sauf ceux ayant éventuellement des valeurs d'erreur aberrantes.



Lancement du géoréférencement



Pour procéder au géoréférencement proprement dit : Menu Fichier → Débuter le géoréférencement ou bien cliquez sur l'icône correspondante.

Une barre de progression s'affiche, le processus peut être relativement long, patientez...

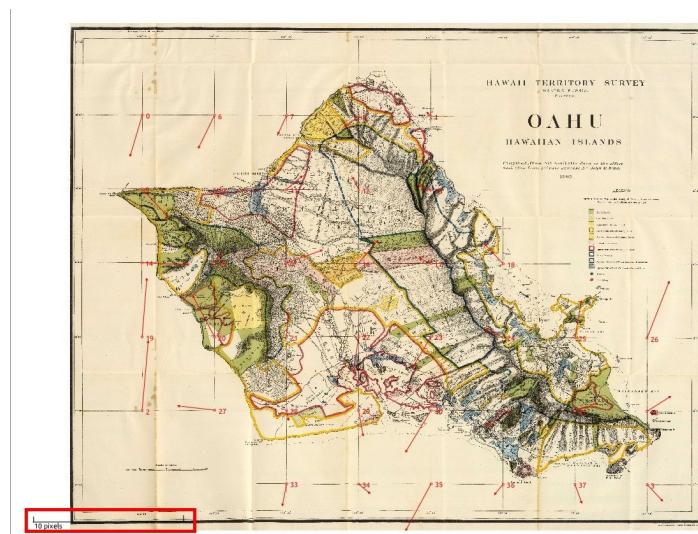
Une fois le géoréférencement terminé, l'image calée s'affiche dans QGIS (en plus de s'afficher dans la fenêtre du géoréférenceur).

Fermez la fenêtre du géoréférenceur.

Vérification de la précision du calage

Lecture de la carte et du rapport PDF

Ouvrez tout d'abord la carte PDF, qui se situe à l'emplacement que vous avez choisi précédemment.



Cette carte montre le déplacement des différents points de calage. Attention, ce déplacement n'est pas représenté à l'échelle de l'image, mais selon une échelle en pixels située en bas à gauche de l'image.

Par exemple, le point 0 en haut à gauche s'est déplacé d'environ 2 ou 3 pixels vers le bas et un peu moins d'un pixel vers la gauche. Vous pouvez constater que cette information coïncide avec celle de la table des points :

Visible	ID	Source X	Source Y	Destination X	Destination Y	dX(pixels)	dY (pixels)	Résidu (pixels)
<input checked="" type="checkbox"/>	0	450,115	-573,368	-158,25	21,6667	-0,820767	2,76686	2,88604

En effet, les informations des cases dX[pixels] et dY[pixels] indiquent un déplacement de 2,77 pixels en Y (vers le bas) et -0,82 pixels en Y (vers la gauche). Ces chiffres seront différents dans votre cas, mais ils seront cohérents avec votre carte PDF.

Le rapport PDF contient la carte, la visualisation séparée des erreurs de calage en chaque point, ainsi que la table des points de contrôle avec les erreurs en X, en Y et totale pour chacun d'eux. Il n'indique malheureusement pas la RMSE (ou l'EMQ). Il demeure cependant possible de la recalculer sous un tableur en important le fichier-texte des points de contrôle (extension .points).

Vérification par superposition d'une autre couche

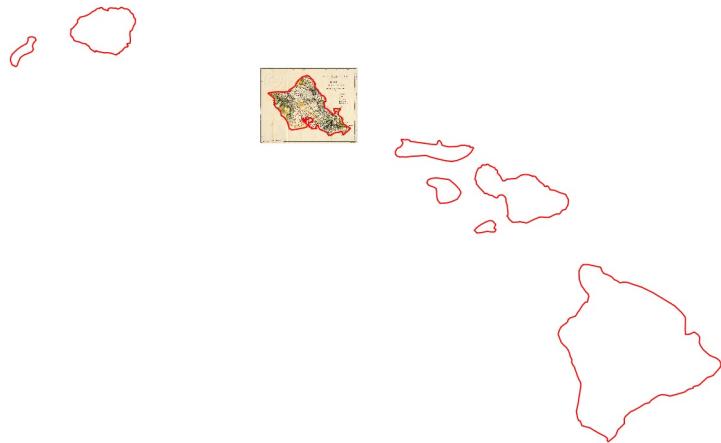
Une bonne manière de vérifier l'exactitude du géoréférencement est de superposer notre couche calée à une couche déjà correctement géoréférencée.

Ici, nous allons utiliser la couche de pays de [NaturalEarth](#).

Si ce n'est pas déjà fait, ajoutez à QGIS votre carte calée de l'île d'Oahu.

Ajoutez ensuite la couche shapefile [ne_10m_admin_0_countries](#), disponible dans le dossier [TutoQGIS_04_Georef/donnees](#).

Les deux couches doivent normalement se superposer (ajustez éventuellement le style de la couche de pays).



Félicitations, votre géoréférencement a fonctionné ! Vous pouvez si vous le voulez découvrir l'autre méthode pour géoréférencer, en se basant sur une couche déjà calée, dans le chapitre suivant.

IV.6 Points de calage : en se basant sur une couche de référence

Ajout d'un fonds OpenStreetMap

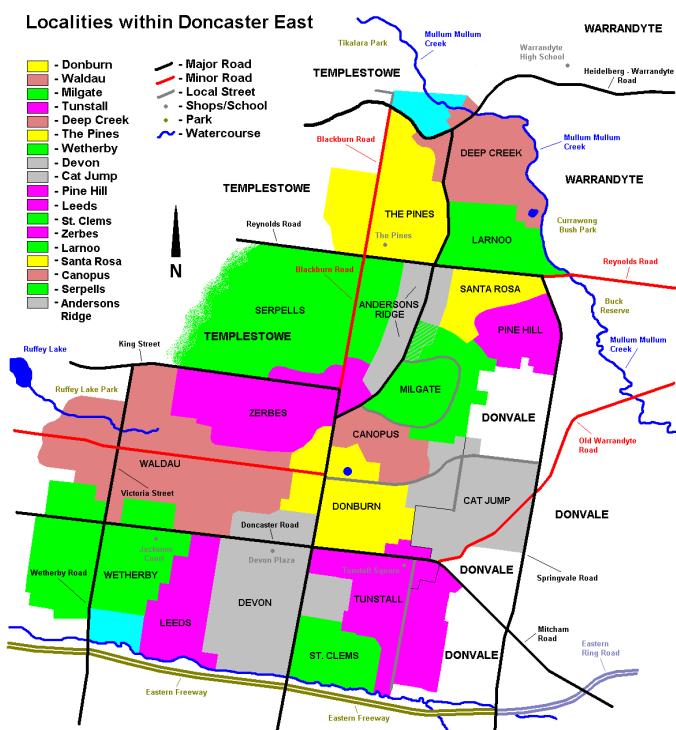
Zoom sur la zone d'étude avec l'extension Nominatim Locator Filter

Création des points de calage

Comme expliqué dans la partie IV.1.2, il est également possible de se baser sur une couche de référence pour géoréférencer une image.

La manipulation sera la même que décrite dans les précédentes parties, sauf en ce qui concerne la création des points de calage. Seule cette partie sera donc décrite ici.

L'image que nous allons caler est une carte de Doncaster East, dans la banlieue de Melbourne (source : [Wikimedia](#) [↗]).

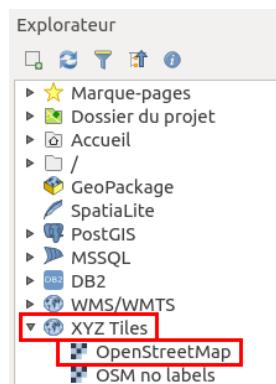


Pour caler cette carte, nous allons nous baser sur les données [OpenStreetMap](#) [↗]. OpenStreetMap est une base de données cartographique libre ; on décrit souvent ce projet comme un "wikipedia cartographique". Pour en savoir plus, voir aussi [ici](#) !

Ajout d'un fonds OpenStreetMap

2 méthodes permettant d'afficher un fonds OpenStreetMap sont décrites [ici](#).

Vous pouvez par exemple vous rendre dans le panneau Explorateur (s'il n'est pas déjà activé : menu Vue → Panneaux → Explorateur), rubrique **XYZ Tiles**, et double-cliquez sur le fonds **OpenStreetMap**.



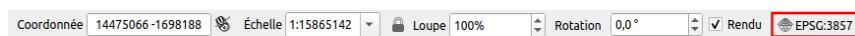
- ▶ Dans quel système de coordonnées est la couche OSM ?

Le SCR de la couche est la WGS84 projection Pseudo Mercator, EPSG:3857.

La couche ajoutée est projetée à la volée dans le SCR du projet.

Pour simplifier les choses, nous allons passer le projet également en Pseudo Mercator, afin que la couche de base pour le géoréférencement et le projet aient le même SCR.

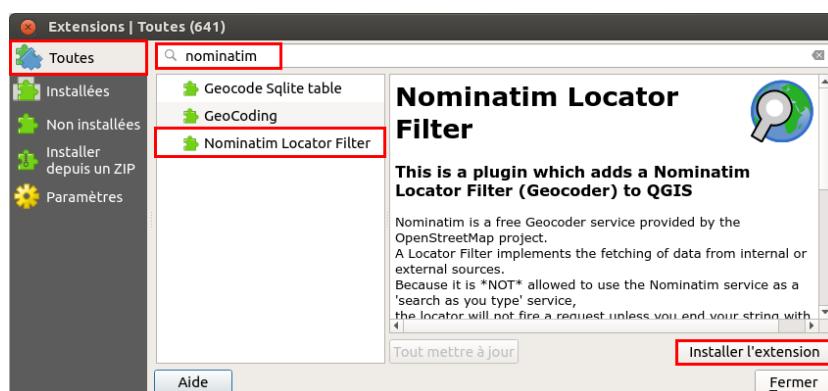
Pour cela, rendez-vous dans les propriétés du projet et sélectionnez le SCR Pseudo Mercator, code EPSG 3857 (cf. [ici](#)). Vous devez maintenant voir le SCR 3857 dans la barre en bas de la fenêtre de QGIS :



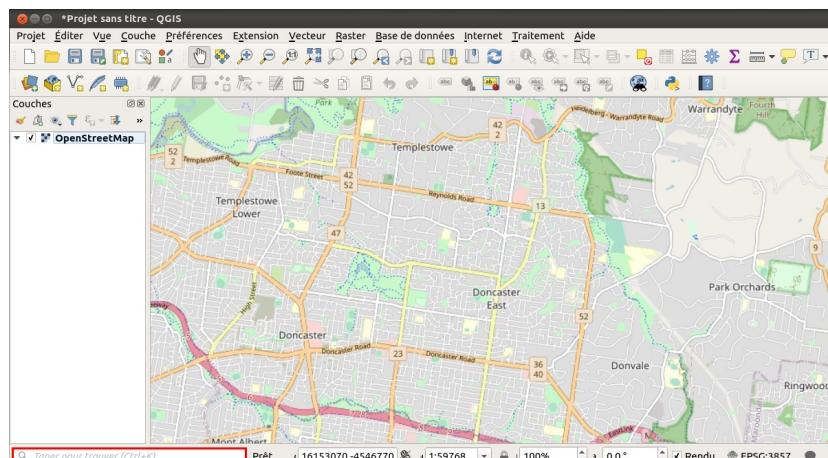
Zoom sur la zone d'étude avec l'extension Nominatim Locator Filter

Nous cherchons ici à zoomer sur la zone qui concerne notre carte, à savoir Doncaster East dans le banlieue de Melbourne, en Australie. Il est bien sûr possible d'utiliser les outils de zoom pour cela, mais nous allons en profiter pour découvrir une autre méthode parfois bien pratique, avec l'extension Nominatim Locator Filter [↗].

Commençons par installer l'extension **Nominatim Locator Filter** : procédez comme pour QuickMapServices, via le **menu Extensions → Installer/Gérer les extensions**.



L'extension n'est pas visible dans QGIS ; en fait, cette extension ajoute une fonctionnalité à la barre de recherche tout en bas à gauche de la fenêtre de QGIS.

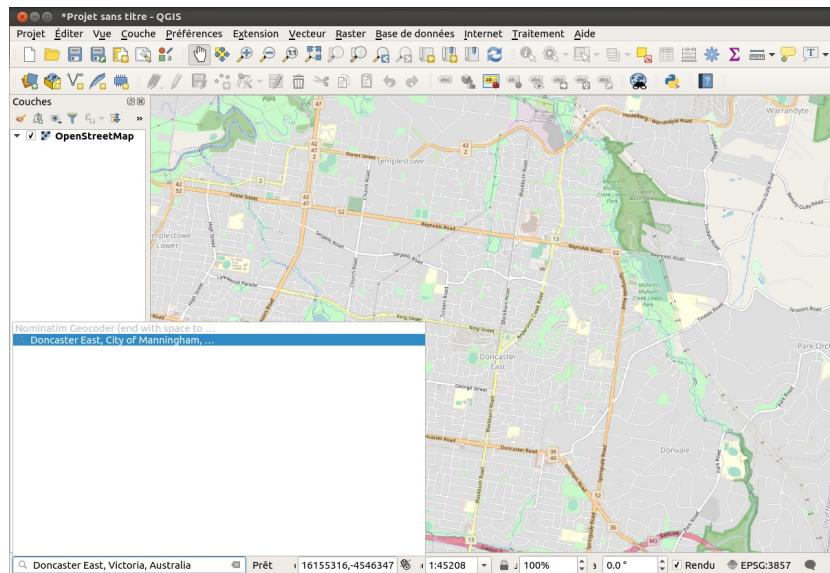


Cette barre de recherche permet de rechercher une couche chargée dans le projet, un algorithme de traitement... L'extension Nominatim Locator Filter lui ajoute la fonctionnalité permettant de rechercher des noms de lieux dans OpenStreetMap et de zoomer sur la zone correspondante (qu'une couche OSM soit chargée dans le projet en cours ou non).

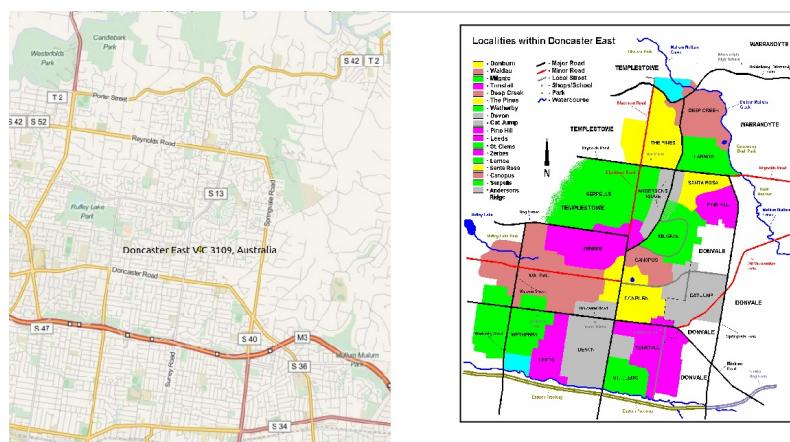
Pour cela, il faut taper le nom du lieu à rechercher puis le caractère espace.

Dans la barre de recherche, tapez : **Doncaster East, Victoria, Australia** en terminant par un espace.

Appuyez sur la touche entrée pour valider la suggestion qui doit normalement apparaître : la carte est maintenant zoomée sur ce lieu.



Zoomez maintenant sur Doncaster East (pour vous aider : carte OpenStreetMap de Doncaster Est [[↗](#)]).



Savez-vous qu'il existe une version française de cette extension, [French locator Filter](#) [[↗](#)], basée sur l'API publique <https://geo.api.gouv.fr/adresse> [[↗](#)] ?

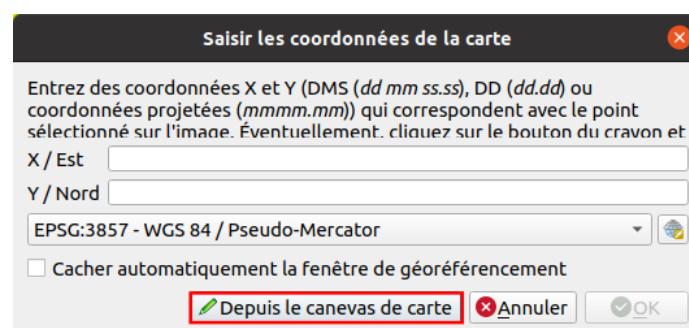
Nous allons maintenant pouvoir procéder à la création des points de calage.

Création des points de calage

Ouvrez la fenêtre du géoréférencement et ajoutez l'image à caler : [Doncaster_east_locality_map.PNG](#) située dans le dossier [TutoQGIS_04_Georef/donnees](#) (si nécessaire, aidez-vous pour cela du début de la partie IV.3.1).

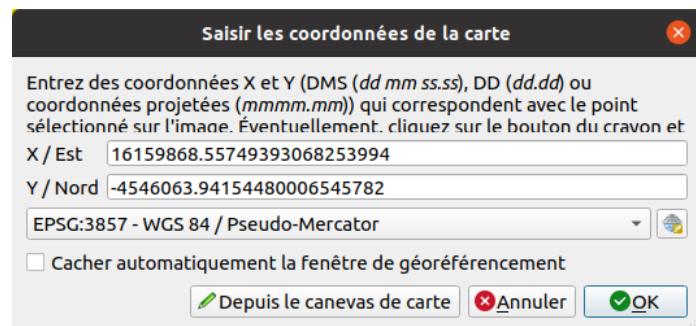
Si QGIS vous demande dans quel SCR est cette image, choisissez [la WGS84 / Pseudo-Mercator EPSG:3857](#).

Cliquez sur une intersection de routes, par exemple entre Reynolds Road et Blackburn Road. La fenêtre de saisie des coordonnées apparaît : cliquez sur le bouton **Depuis le canevas de la carte**.



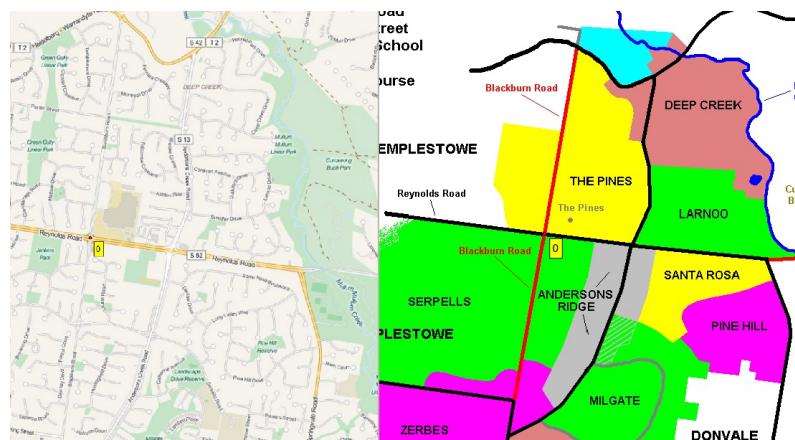
Dans la fenêtre de QGIS, cliquez sur cette intersection sur les données OSM : les coordonnées de la fenêtre de saisie sont automatiquement remplies avec les coordonnées du point sur lequel vous venez de cliquer.





Notez également que le SCR du projet est automatiquement sélectionné !

Cliquez sur **OK**.



Premier point : à gauche, dans la fenêtre de QGIS (données OSM) et à droite, dans la fenêtre du géoréférencement.

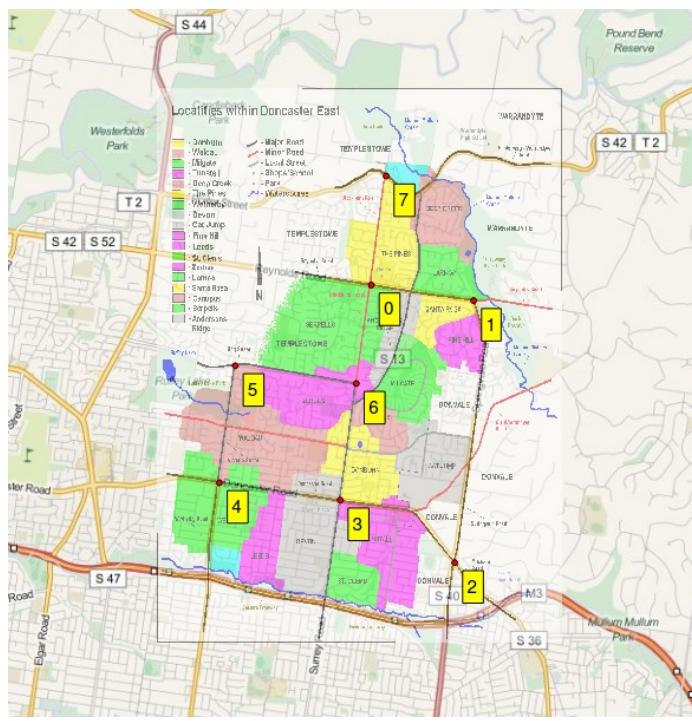
Procédez de la même manière pour obtenir au moins six points de calage.

Si vous avez besoin de **vous déplacer dans la fenêtre de QGIS avant de cliquer pour créer le point** : vous pouvez laisser la **barre d'espace** appuyée en bougeant la souris, et zoomer et dézoomer avec la molette. Vous pouvez aussi sélectionner l'outil **Se déplacer dans la carte** (icône de main) ; dans ce cas, revenez ensuite à la fenêtre du géoréférencement et cliquez à nouveau sur le bouton **Depuis le canevas de la carte** pour créer le point.

Ensuite, choisissez les **paramètres du géoréférencement** : vous pouvez choisir les mêmes que précédemment, mais **n'oubliez pas de sélectionner le SCR WGS84 Pseudo-Mercator EPSG:3857 au lieu du WGS84 EPSG:4326**.

Lancez le calage.

Une fois le calage terminé, vous pouvez en vérifier la précision en donnant de la transparence à votre image calée (dans les propriétés de la couche, rubrique Transparence) :



L'image est calée, son SCR est WGS84 Pseudo-Mercator (vous pouvez le vérifier en allant dans les propriétés de la couche, rubrique Général). Si vous désirez modifier le SCR de cette couche, comme indiqué dans la partie II.4.2, utilisez l'outil **Reprojeter une couche**.