
QGIS 15



Mise en œuvre des principales
fonctions hydrologiques de
l'extension WhiteboxTools

Septembre 2022



TABLE DES MATIERES

1. PREAMBULE.....	1
AUTEURS	1
LICENCE DE CE DOCUMENT	1
2. INTRODUCTION.....	2
3. CREATION DE COUCHES HYDROLOGIQUES.....	4
3.1 INTRODUCTION	4
3.2 PREPARATION DES DONNEES	5
3.3 PRETRAITEMENT DU MNT (REMPLISSAGE DES DEPRESSIONS)	6
3.4 DEFINITION DES DIRECTIONS D'ÉCOULEMENT (D8 FLOW POINTER OR FLOW DIRECTION)	8
3.5 DEFINITION DES ACCUMULATIONS D'ÉCOULEMENT (D8 FLOW ACCUMULATION)	9
3.6 DEFINITION DES AXES D'ÉCOULEMENT (EXTRACT STREAMS)	10
3.7 DECOUPAGE EN ISO-BASSINS VERSANT	11
3.8 DECOUPAGE EN SOUS-BASSINS VERSANT	12
3.9 DELIMITATION D'UN BASSIN VERSANT EN AMONT D'UN EXUTOIRE	13
3.10 ORDRE DES COURS D'EAU (STREAM ORDER)	14
4. EXERCICE SUPPLEMENTAIRE	17
4.1 INTRODUCTION	17
4.2 CREATION DES AXES D'ÉCOULEMENT.....	18
4.3 DELIMITATION D'UN MICRO BASSIN VERSANT	19
4.4 ESTIMATION DE LA CAPACITE D'UN BASSIN DE RETENTION	21

1. Préambule

- Le présent document a été développé par l'Axe de Gestion des Ressources forestières de Gembloux Agro-Bio Tech – Université de Liège.
- Le document a été réalisé sur la base de captures d'écran issues de la version 3.22.8-Białowieża du logiciel QGIS. Ce logiciel est distribué sous licence GNU General public Licence. Le logiciel et l'ensemble des informations le concernant sont accessibles sur le site officiel de QGIS (www.qgis.org).
- Les données utilisées proviennent des sites DIVA-GIS (<http://www.diva-gis.org/>) et Eurostat (<https://ec.europa.eu>).
- Ce document a été écrit et vérifié par les auteurs. Cependant, il est possible que des erreurs subsistent et les éventuelles remarques et corrections sont toujours les bienvenues.
- La responsabilité de l'ULiège-GxABT et des auteurs ne peut, en aucune manière, être engagée en cas de litige ou dommage lié à l'utilisation de ce document.

Auteurs

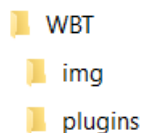
- Philippe Lejeune (p.lejeune@uliege.be)
- Chloé Dupuis (chloe.dupuis@uliege.be)

Licence de ce document

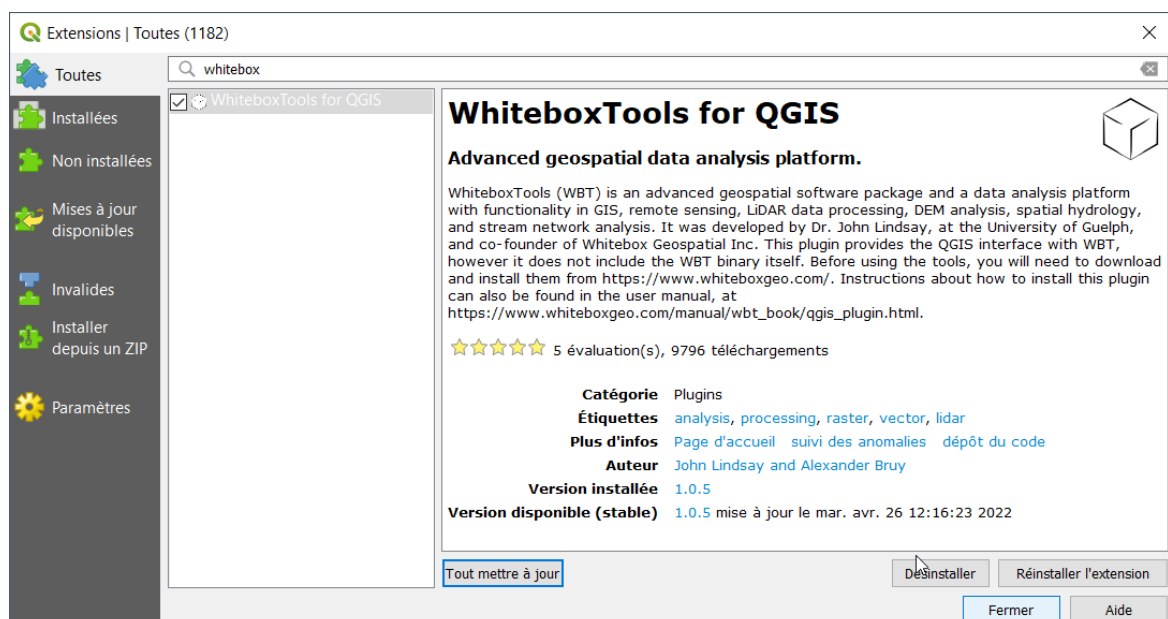
- La permission de copier et distribuer ce document à des fins pédagogiques est accordée sous réserve d'utilisation non commerciale et du maintien de la mention des sources.


2. Introduction

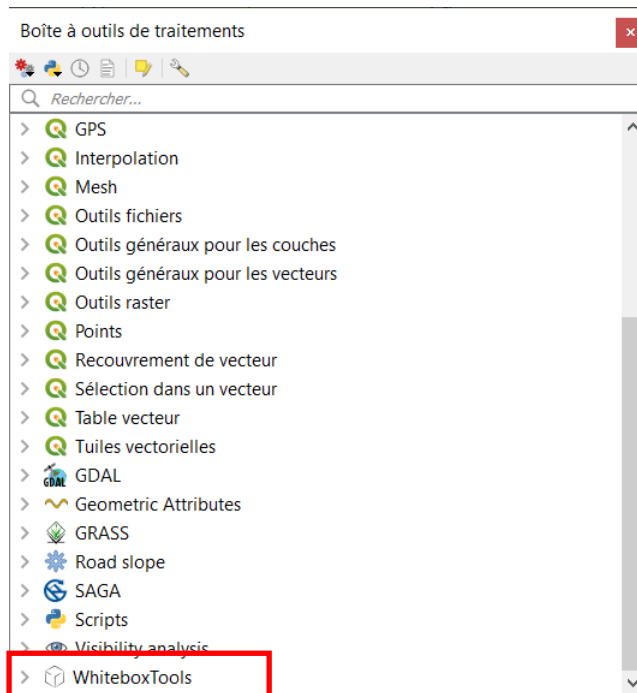
- L'objectif de ce tutoriel est d'initier à l'exploitation de Modèles Numériques de Terrain en vue de générer différentes variables hydrologiques.
- Il existe différentes librairies « open access » pour mettre en œuvre ce genre d'analyse. Dans cet exercice, nous utilisons l'extension WhiteBoxTools de QGIS qui est reliée à la boîte à outils whiteboxtools développée par la firme Whitebox Geospatial Inc et disponible en libre accès.
- Pour rendre cette extension fonctionnelle, il convient tout d'abord de télécharger les fichiers constitutifs de la boîte à outils avec ce lien : <https://www.whiteboxgeo.com/download-whiteboxtools/>
- Une fois le fichier téléchargé, le fichier zip peut être décompacté sous la forme d'un répertoire WBT\ (par exemple, sur le disque C).




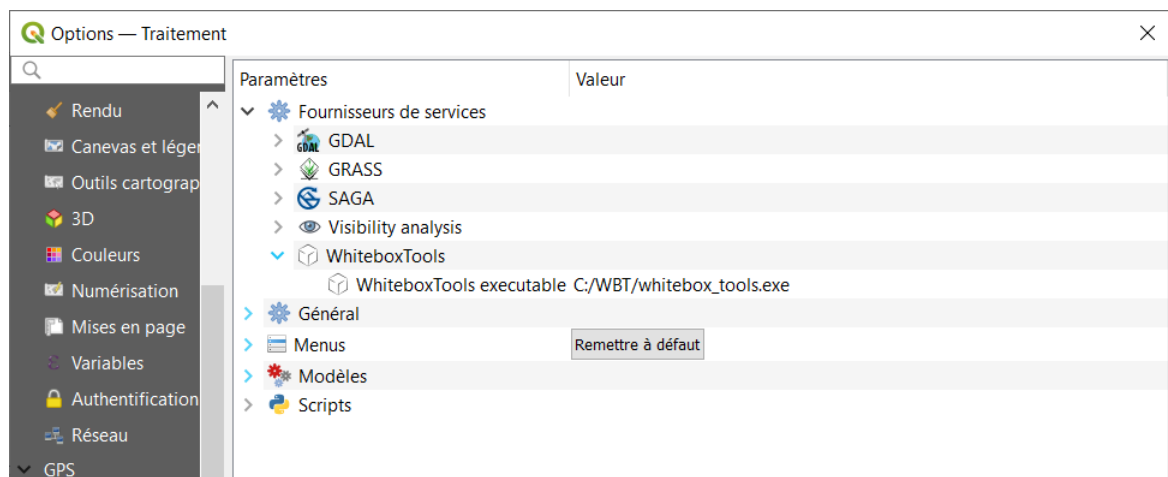
- L'extension QGIS qui permet d'utiliser les fonctionnalités contenues dans ce répertoire peut ensuite être installée. Accéder pour cela au gestionnaire d'extensions avec la commande **[Extensions] → [Installer/Gérer les extensions]**.
- Taper le mot « whitebox » dans la boîte de recherche. L'extension WhiteboxTools devrait apparaître dans la liste des extensions disponibles. Sélectionner celle-ci et cliquer ensuite sur le bouton « Installer » pour installer l'extension.



- La boîte à outils WhiteboxTools est maintenant visible dans la boîte à outils de traitements qui est affichée avec le bouton .



- Pour rendre celle-ci opérationnelle, il faut définir ses paramètres en accédant aux propriétés de la boîte à outils de traitements avec le bouton .

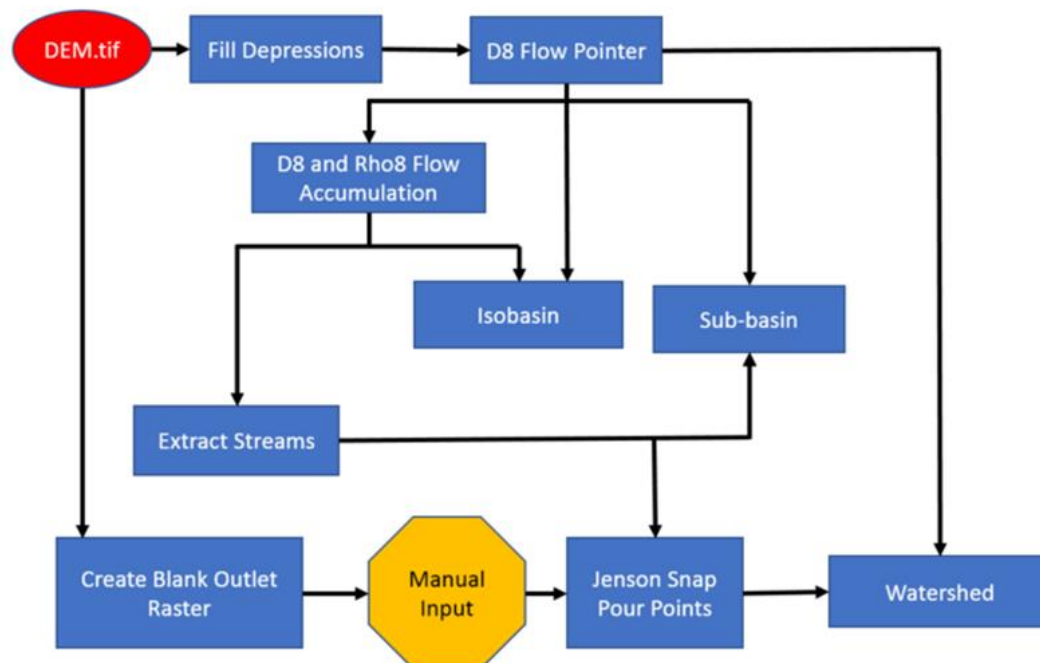


- Ouvrir ensuite l'onglet « Fournisseur de services » qui reprend les différentes applications accessibles depuis l'environnement QGIS.
- Ouvrir l'onglet « WhiteboxTools ». Celui-ci contient 1 seul paramètre : il s'agit de l'emplacement de l'exécutable **whitebox_tools.exe**. Celui-ci doit normalement se trouver dans le répertoire \WBT.

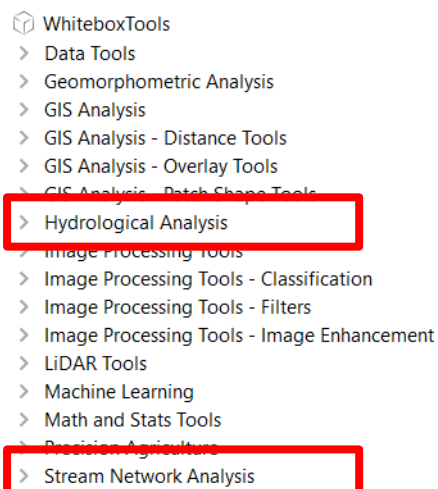
3. Création de couches hydrologiques

3.1 Introduction

- La génération de couches hydrologiques au départ d'un MNT suit généralement un workflow standardisé qui est représenté dans la figure ci-dessous (source : <https://dges.carleton.ca>)

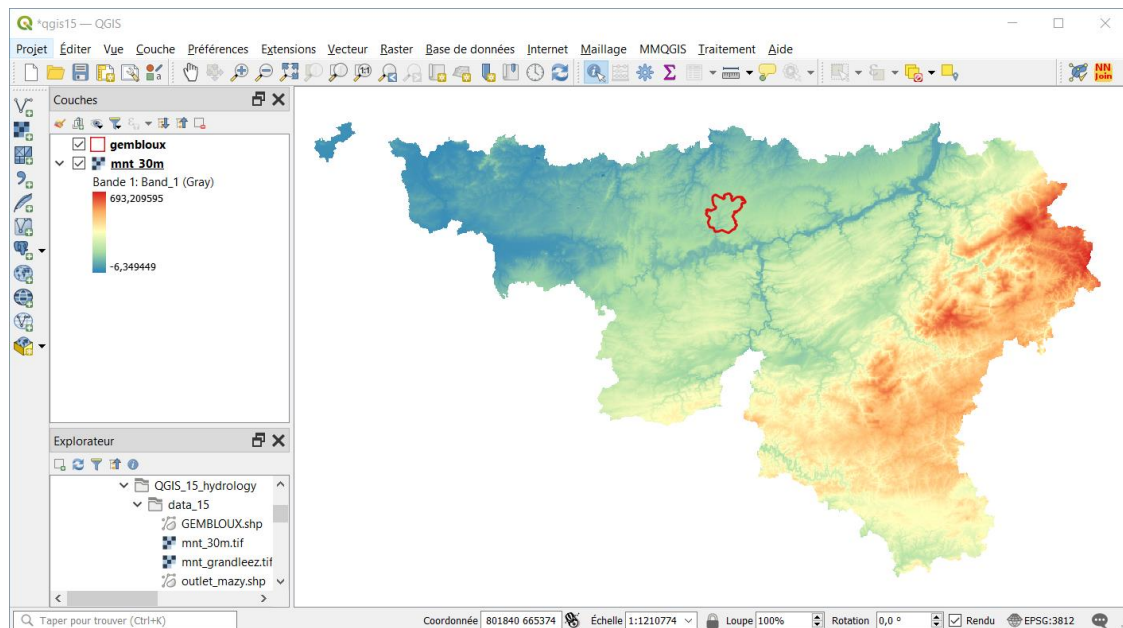


- Les différentes étapes sont présentées dans les paragraphes qui suivent en considérant comme zone test la commune de Gembloux.
- Remarque :** les fonctionnalités relatives aux fonctions hydrologiques sont rangées dans 2 sous-répertoires de la boîte à outils WhitetoolBox : Hydrological Analysis et Stream Network Analysis.

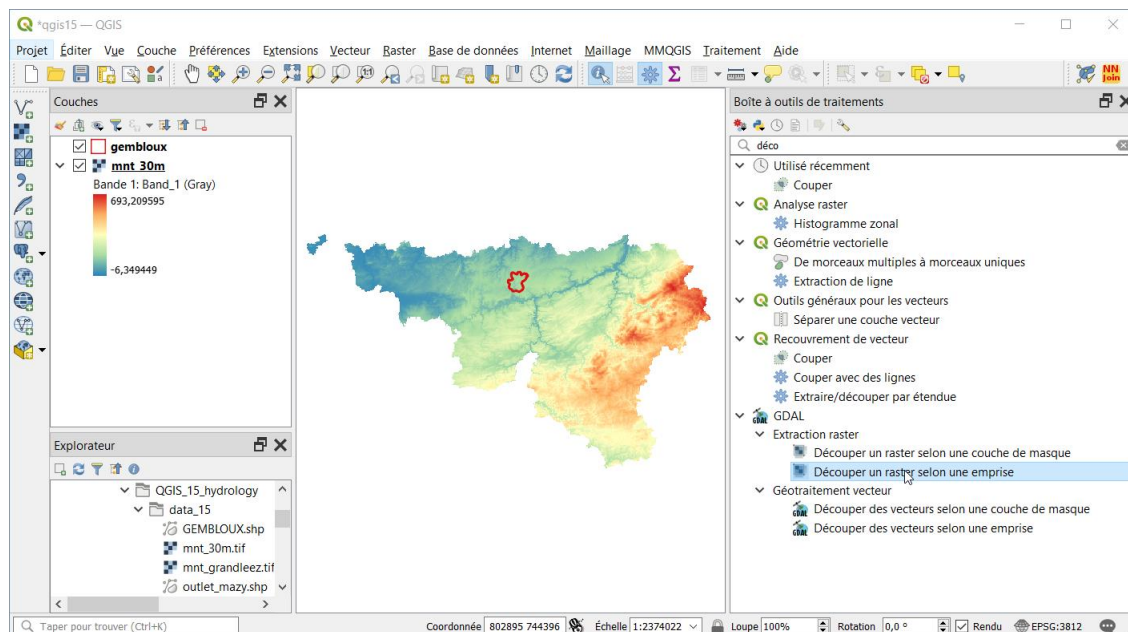


3.2 Préparation des données

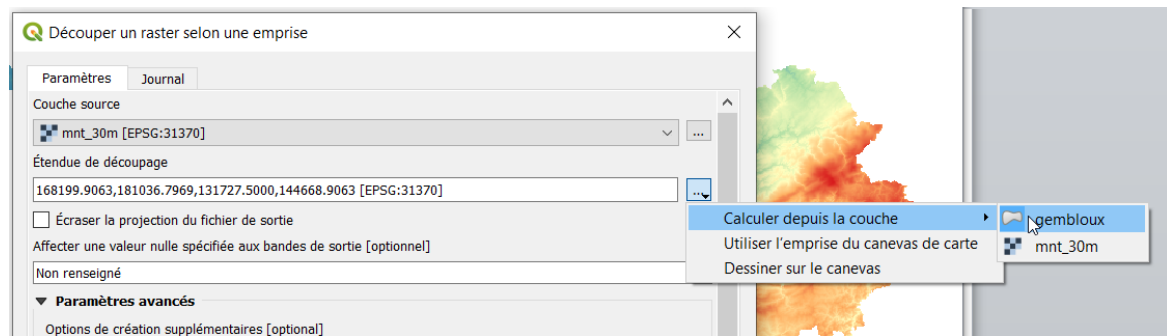
- Charger le fichier **mnt_30m.tif** dans un nouveau projet QGIS. Celui-ci contient un Modèle Numérique de Terrain couvrant la Wallonie et possédant une résolution de 30 m.
- Afficher également la couche contenue dans le fichier **gembloux.shp**. Celle-ci contient les limites de la commune de Gembloux.



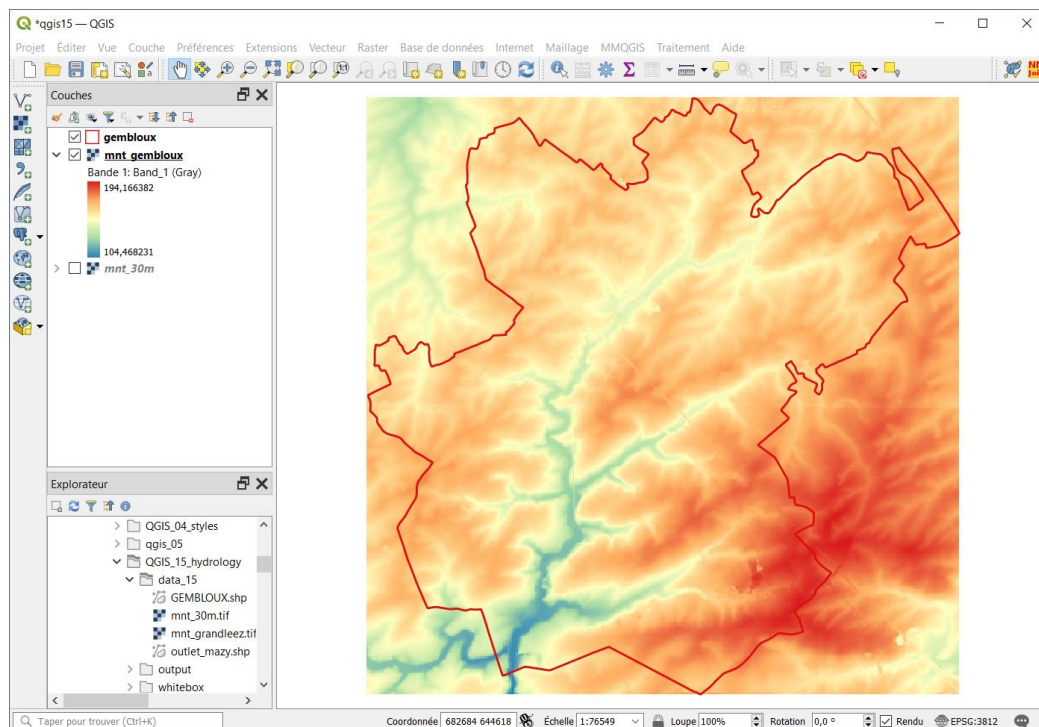
- Pour la suite de l'exercice, les traitements porteront sur un MNT dont l'emprise est limitée à la commune de Gembloux. Pour créer ce MNT d'emprise réduite, ouvrir la commande « Découper un raster selon une emprise » depuis la boîte à outils de traitements.



- Découper la couche **mnt_30m** aux limites de l'emprise de la couche **gembloux**.

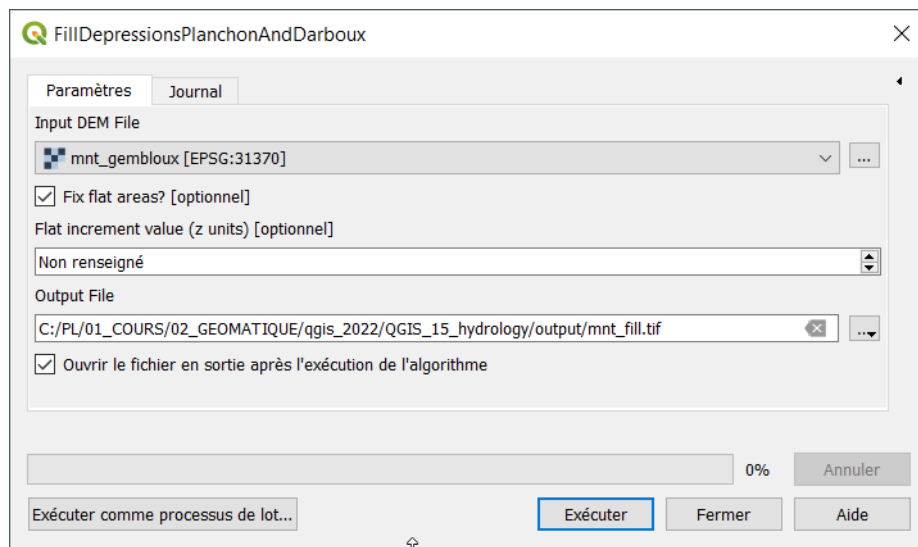


- Sauvegarder le résultat dans 1 fichier baptisé **mnt_gembloux.tif**.



3.3 Prétraitement du MNT (remplissage des dépressions)

- La première étape dans la chaîne de traitement d'un MNT visant à produire les couches hydrologiques de base consiste à s'assurer de la continuité hydrologique du MNT. Dans cet exercice, la continuité sera obtenue en remplissant les dépressions présentes dans le MNT.
- Cette opération est réalisée avec la fonction « **FillDepressionsPlanchonAndDarboux** ». Celle-ci est une version « améliorée » de la fonction de base **FillDepressions**.
- Ouvrir la boîte de dialogue de la fonction **FillDepressionsPlanchonAndDarboux** et définir les paramètres comme dans la figure qui suit. Exécuter ensuite la commande avec le bouton « Exécuter ».

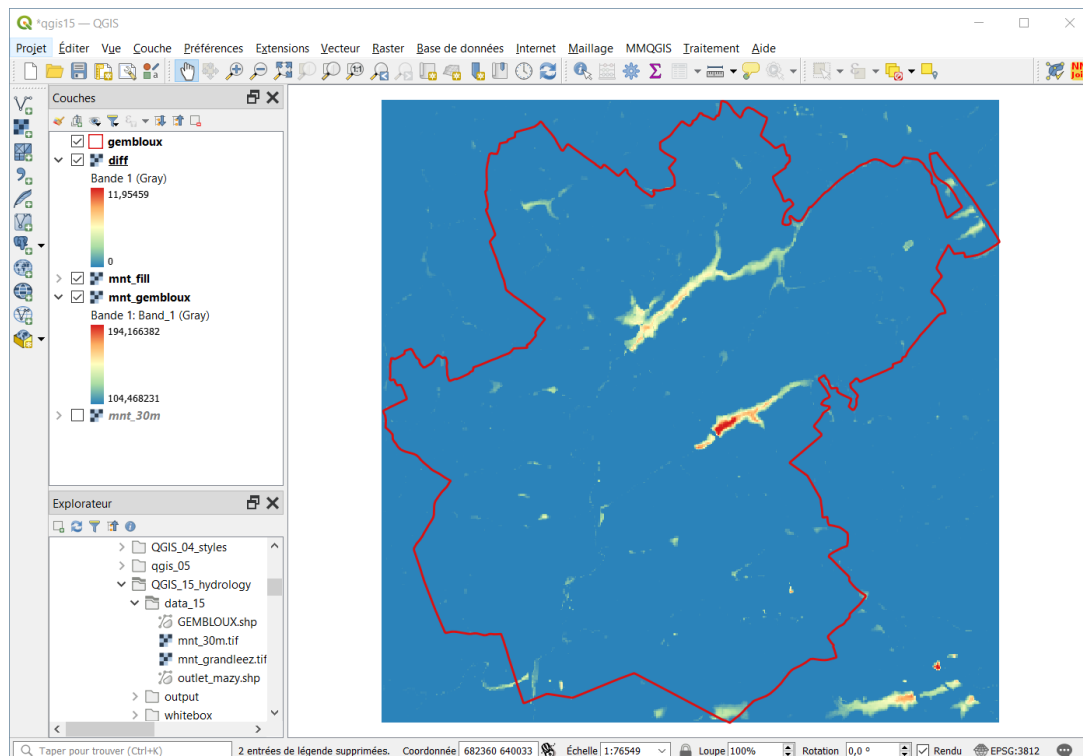


- Pour bien comprendre l'impact de cette étape du traitement, utiliser la calculatrice raster pour générer 1 couche mettant en évidence la différence entre le MNT original et le MNT modifié.

Expression de la calculatrice raster

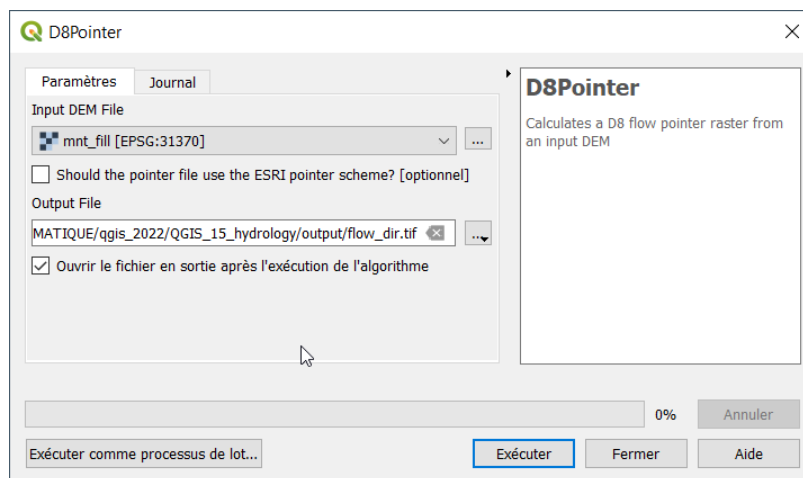
```
"mnt_fill@1" - "mnt_gembloux@1"
```

- Le résultat devrait se présenter comme dans la figure suivante. Essayer de comprendre les raisons de ces différences. Pour cela, utiliser l'orthoimage disponible en webservice et accessible avec le fichier de définition de couche **ortho_2021.qlr**.

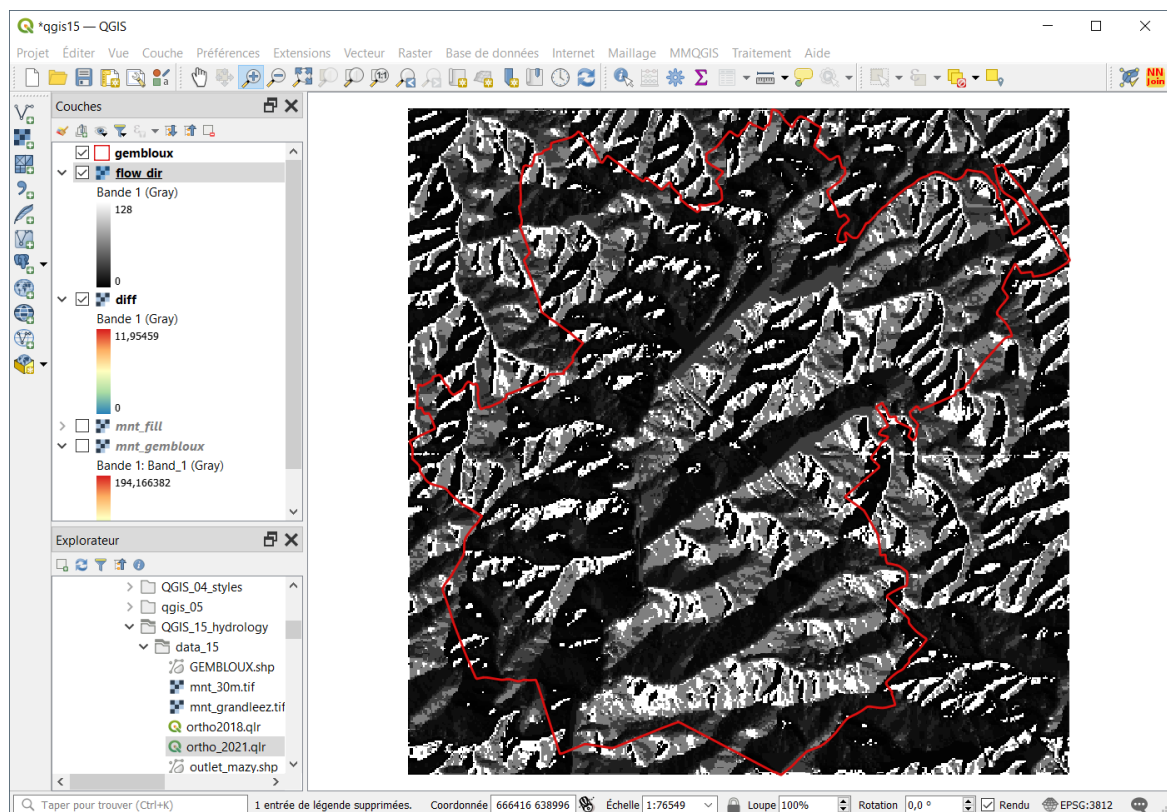


3.4 Définition des directions d'écoulement (D8 Flow Pointer or Flow Direction)

- L'étape suivante concerne la définition des directions d'écoulement. Celles-ci sont calculées dans cet exercice avec la fonction **D8Pointer** qui utilise l'algorithme D8. Celui-ci définit pour chaque pixel, la direction d'écoulement comme étant celle qui pointe vers un des 8 pixels voisins. L'algorithme détermine le pixel voisin avec lequel le pixel considéré présente le dénivelé relatif le plus important.
- Afficher la boîte de dialogue de la fonction D8Pointer et remplir les rubriques comme dans la figure qui suit. Baptiser le fichier de sortie **flow_dir.tif**.



- Le résultat devrait se présenter comme dans la figure suivante.

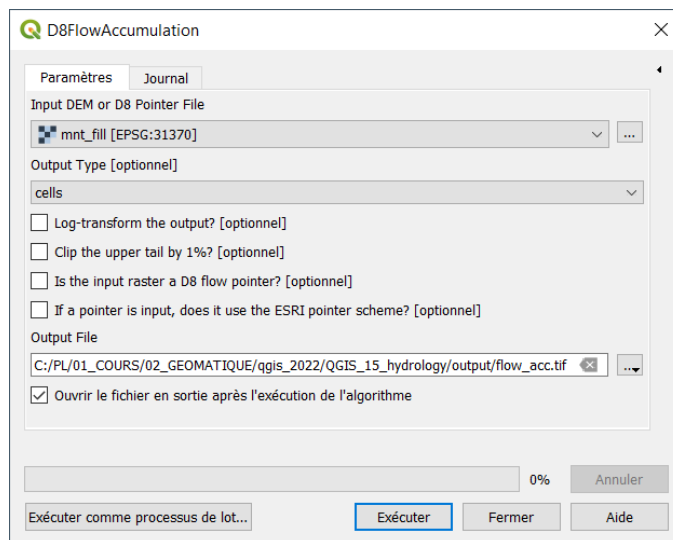


- Les valeurs attribuées aux pixels sont basées sur la codification suivante : la valeur « 1 » correspond à un écoulement vers le Nord-Est, la valeur « 2 » à un écoulement vers l'Est...

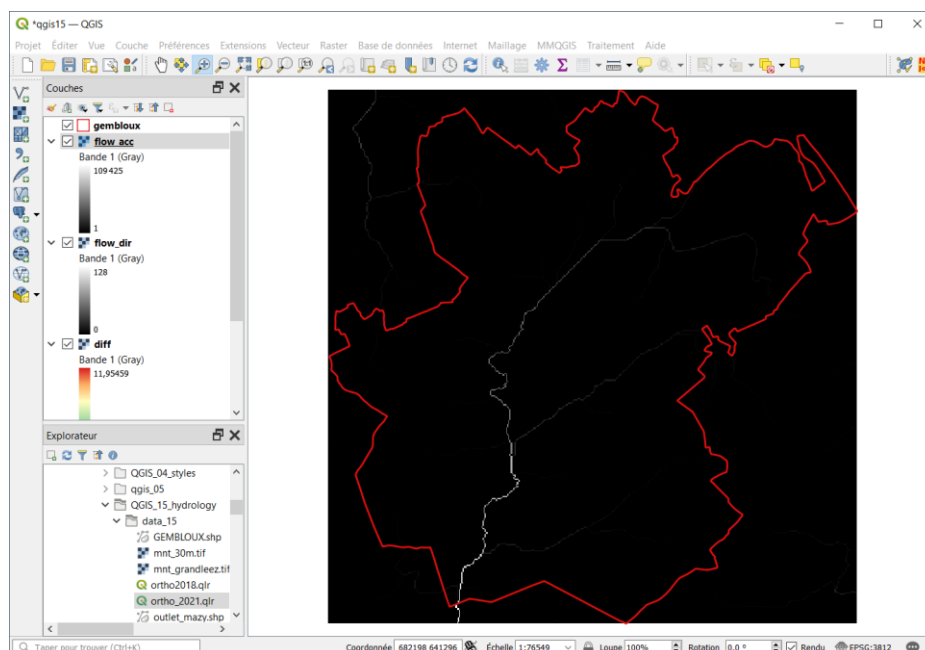
64	128	1
32	0	2
16	8	4

3.5 Définition des accumulations d'écoulement (D8 Flow Accumulation)

- Après avoir défini les directions d'écoulement, on peut calculer les accumulations d'écoulement. Cette opération s'effectue avec la fonction **D8Flowaccumulation** en définissant les paramètres comme dans la figure suivante. Baptiser le résultat **flow_acc.tif**.

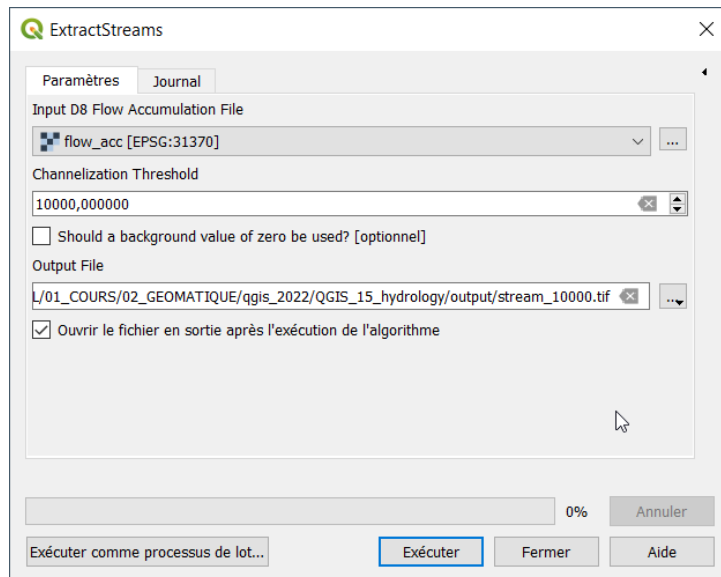


- Le résultat devrait se présenter comme dans la figure suivante.

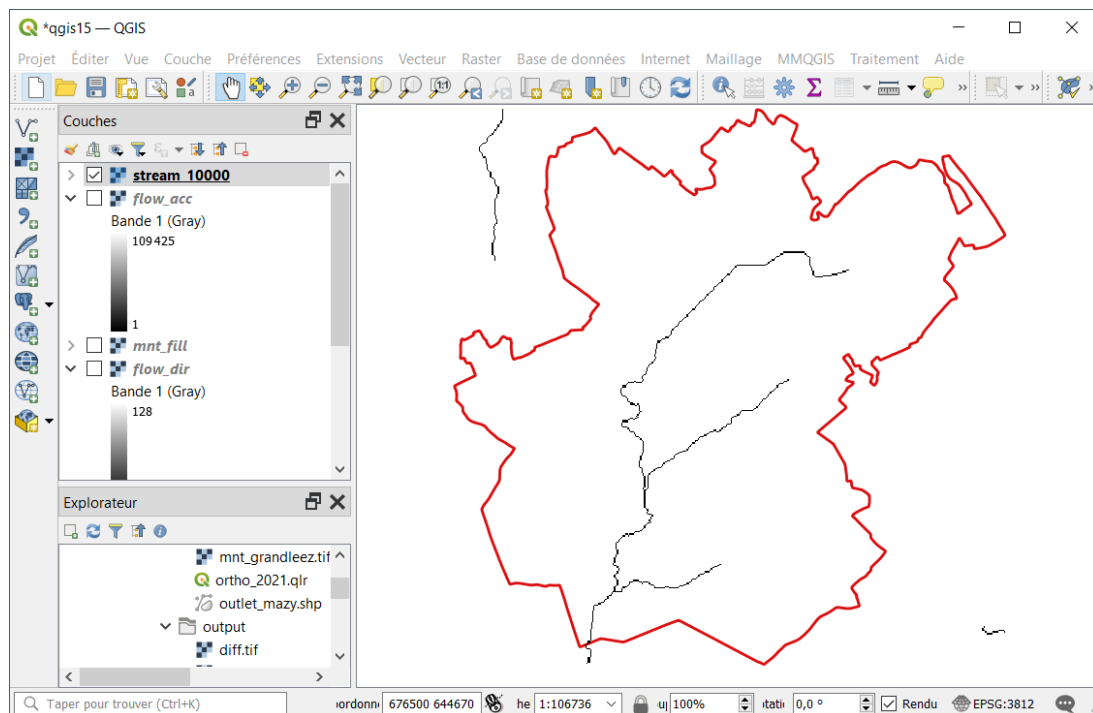


3.6 Définition des axes d'écoulement (Extract Streams)

- Disposant de la couche décrivant les accumulations d'écoulement, il est très simple d'en déduire, par seuillage, les axes d'écoulement. Cette étape est prise en charge par la fonction **ExtractStreams** qui se trouve dans la rubrique Stream Network Analysis de la boîte à outils Whitebox. Définir les paramètres comme dans la figure qui suit.

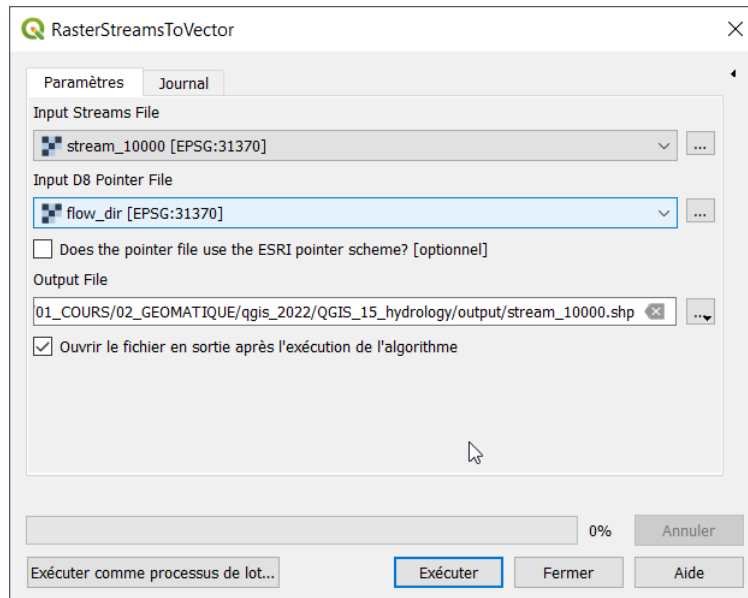


- Le résultat se présente comme dans la figure ci-dessous.

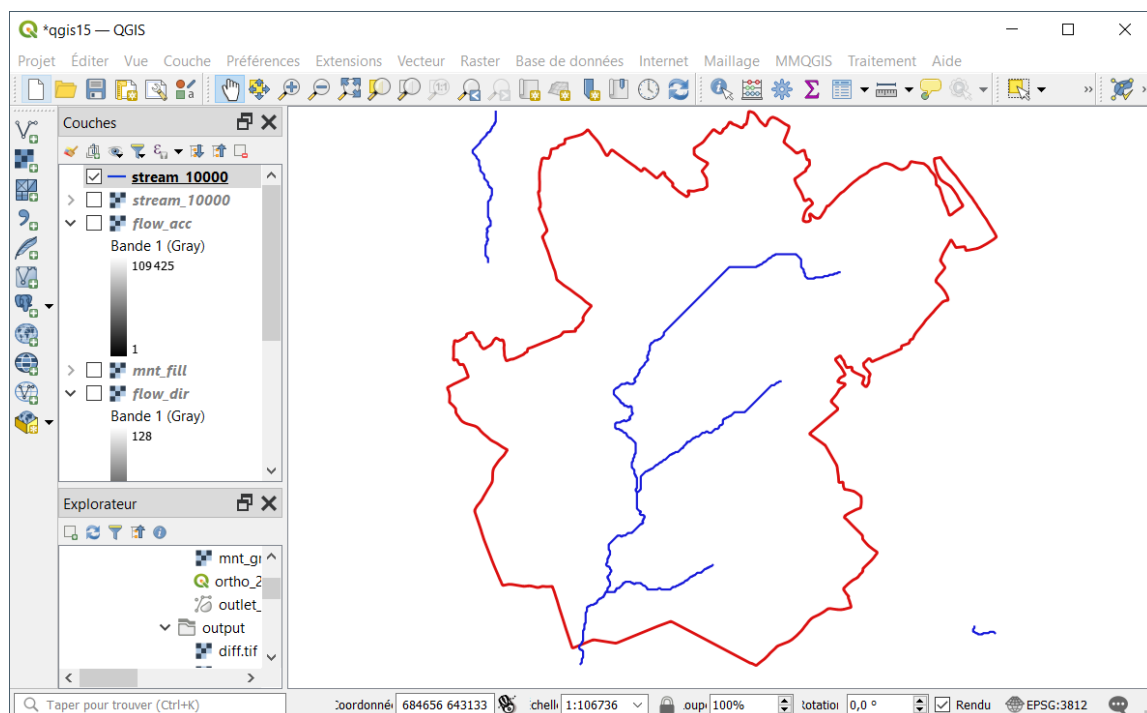


- La version raster décrivant les axes d'écoulement peut être vectorisée avec la fonction **RasterStreamsToVector**. Les données d'entrée pour celle-ci sont la couche raster qui vient d'être produite, ainsi que la couche de direction d'écoulement.

- **Remarque importante** : la couche vectorielle de sortie DOIT être sauvegardée dans 1 shapefile !

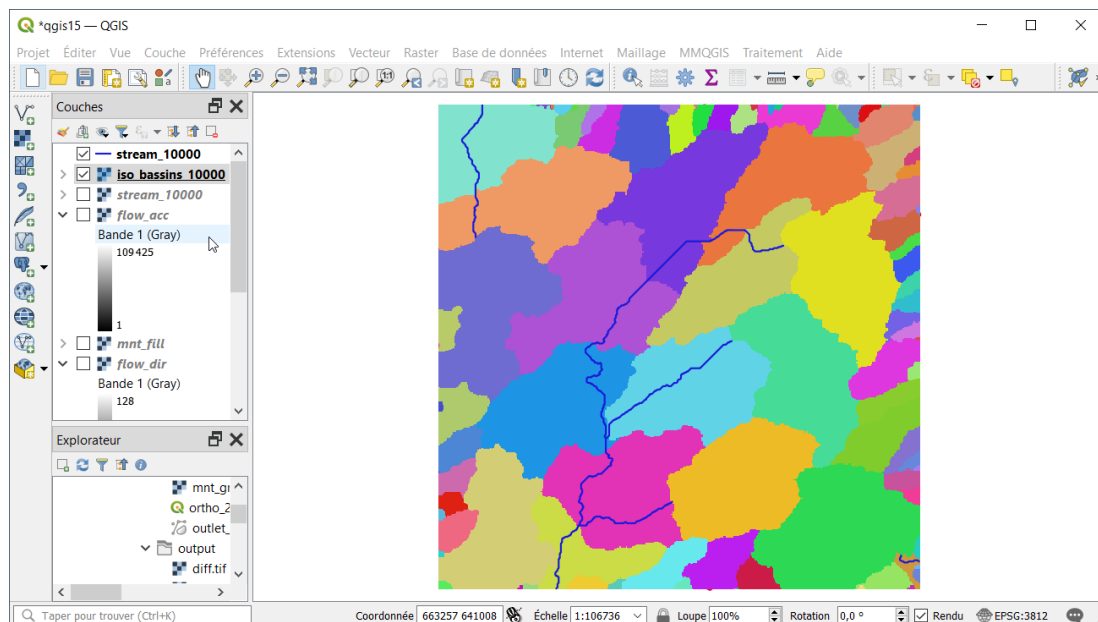
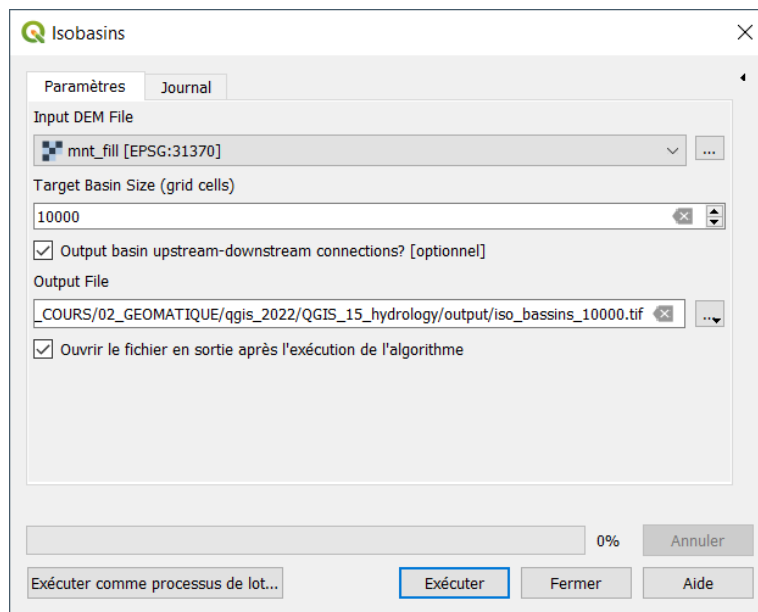


- Pour visualiser le résultat correctement, il convient de définir manuellement son CRS (« epsg :31370 »).



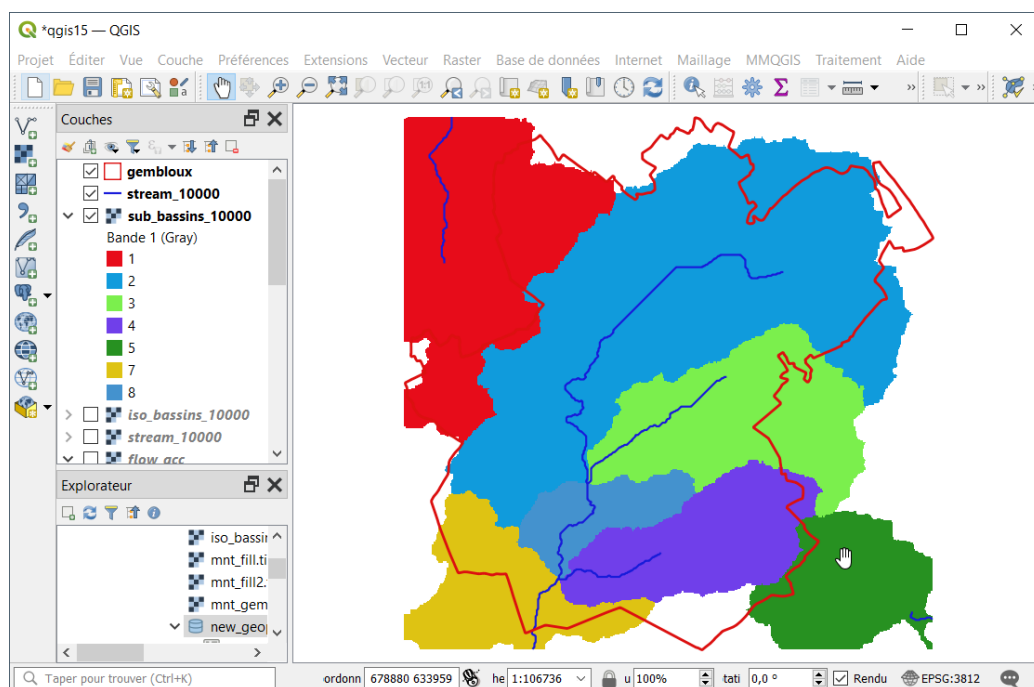
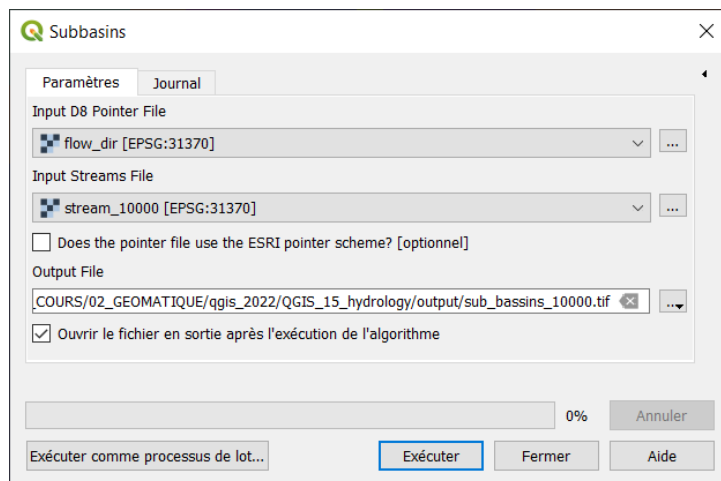
3.7 Découpage en iso-bassins versants

- Parallèlement à la création d'une couche d'axes d'écoulement, il est possible de créer une autre couche qui découpe l'ensemble de la zone d'étude en bassins versants de taille uniforme. L'exemple qui suit découpe la zone d'intérêt en bassins d'environ 10000 pixels.



3.8 Découpage en sous-bassins versants

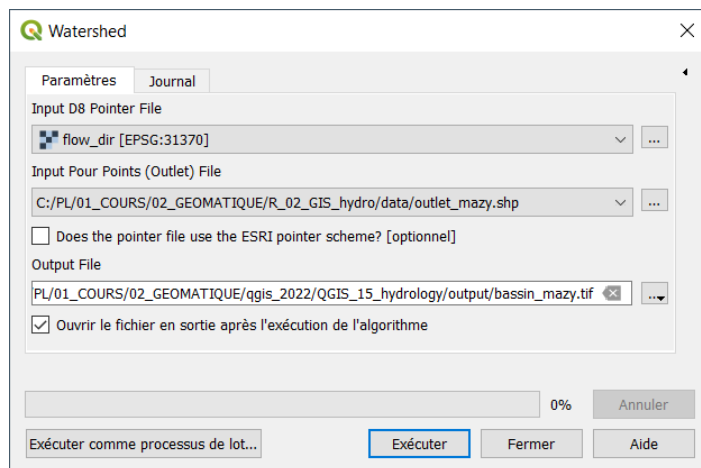
- Une autre approche pour la délimitation de bassins versants est de baser celle-ci sur les axes d'écoulement qui ont été définis au § 3.6. Dans ce cas, on utilise la fonction **Subbassins**.



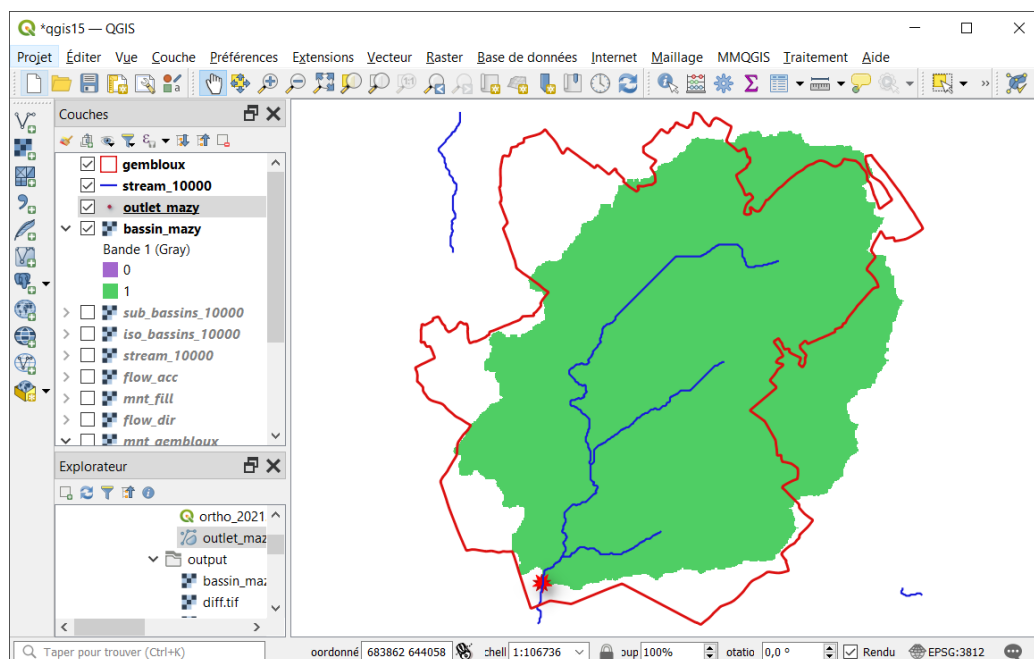
- **Remarque importante** : dans la figure ci-dessus, les bassins versants 1 (rouge), 5 (vert foncé) et 7 (jaune) sont incomplets en raison d'effets de bords liés à l'emprise du MNT de départ.

3.9 Délimitation d'un bassin versant en amont d'un exutoire

- On peut aussi délimiter un bassin versant en définissant son exutoire. On utilise pour cela la fonction **watershed**.
- Afficher dans le projet la couche **outlet_mazy.shp**
- Définir les paramètres de la fonction **watershed** comme dans la figure suivante.

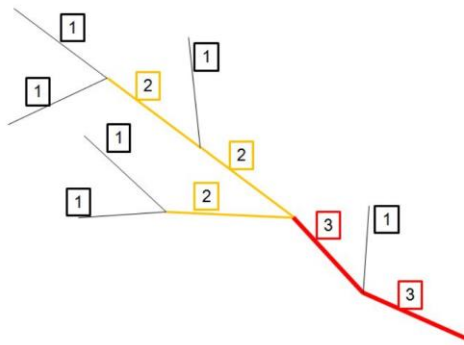


- Le résultat se présente comme suit.



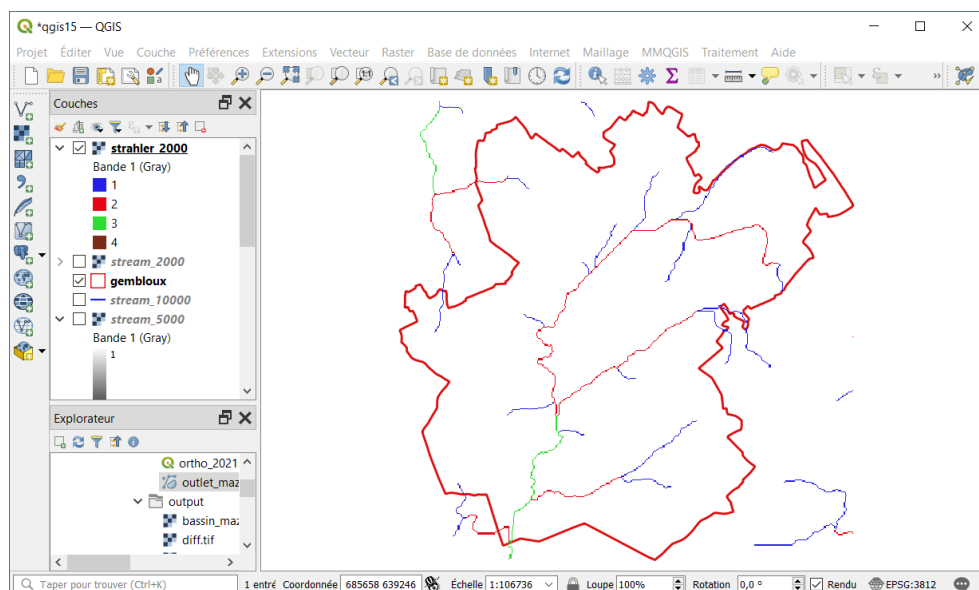
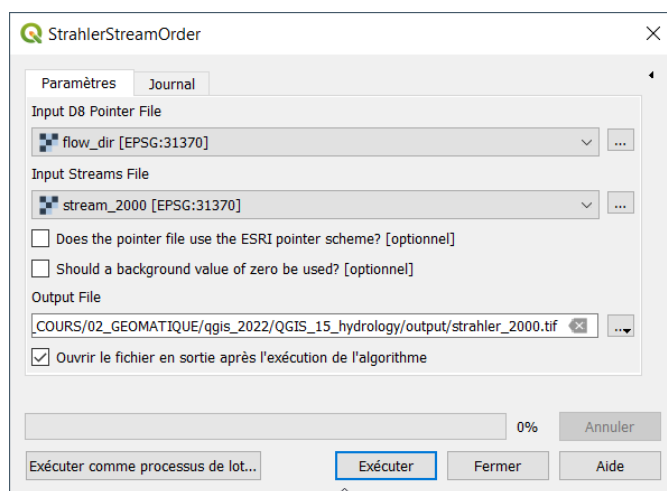
3.10 Ordre des cours d'eau (Stream Order)

- Il existe plusieurs systèmes d'ordonnement des éléments linéaires constitutifs d'un réseau hydrographique.
- Le plus connu est l'**ordre de Stralher** qui est illustré dans la figure suivante (source : <http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Fichier:Stralher.JPG>).

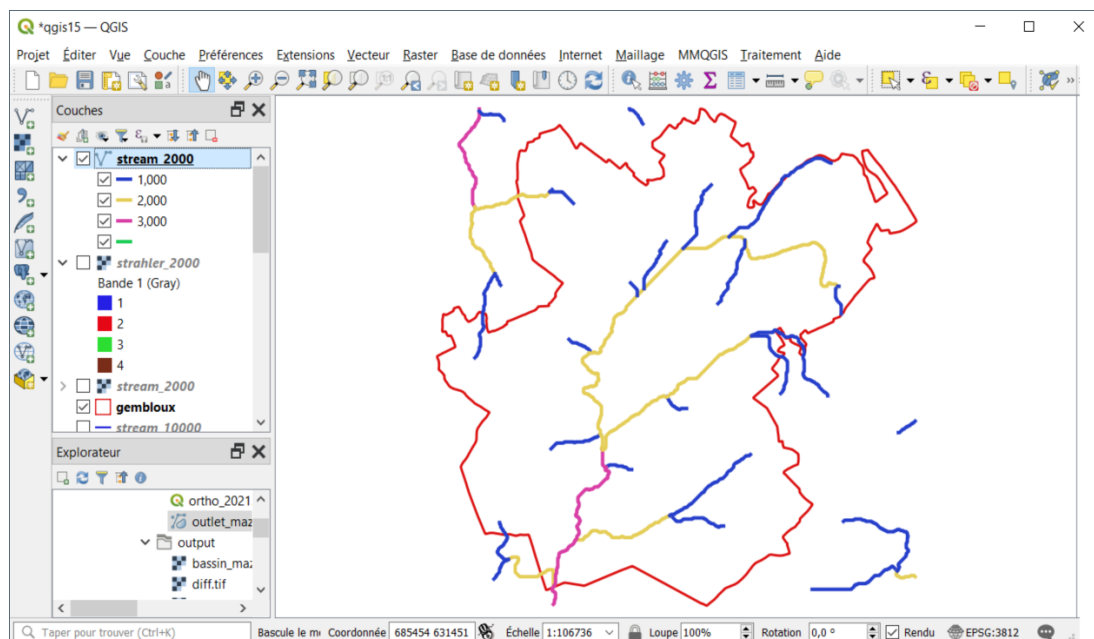
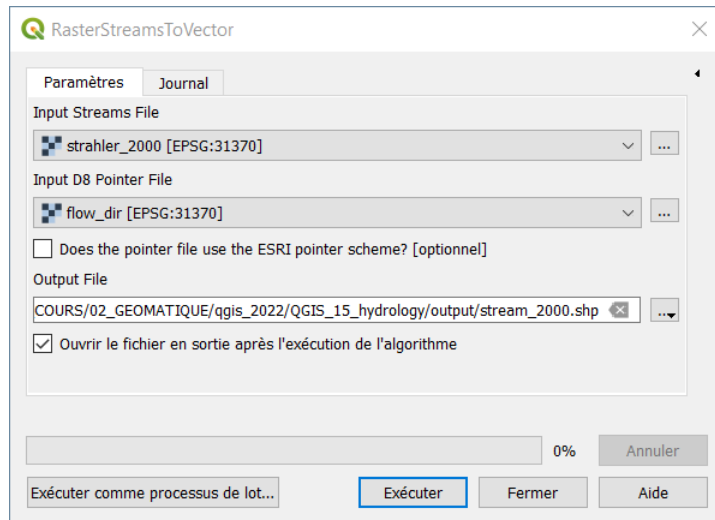


Représentation schématique de l'ordre de Stralher
(<http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr>).

- Pour illustrer cette notion, générer une nouvelle couche d'axes d'écoulement en considérant une valeur seuil de 2000 pixels. Baptiser la nouvelle couche **stream_2000.tif**.
- Calculer ensuite les ordres de de Stralher pour les axes ainsi définis avec la fonction **StrahlerStreamOrder**, en définissant les paramètres comme dans la figure qui suit.



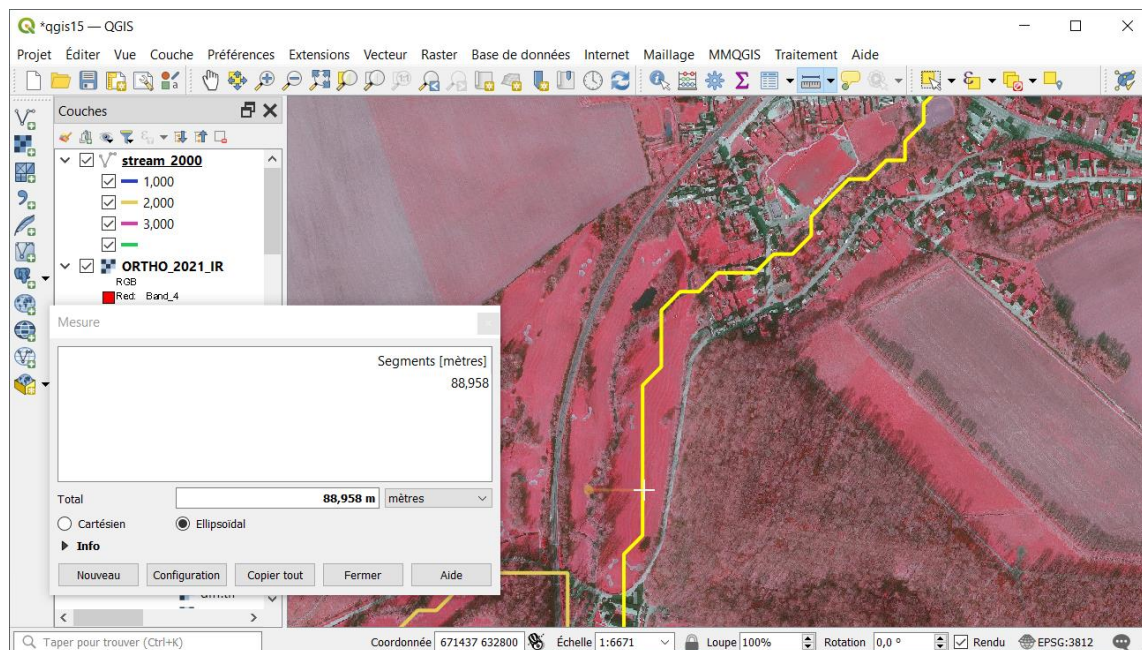
- La couche raster qui vient d'être produite peut être vectorisée avec la fonction **RasterStreamToVector** en veillant à créer un shapefile. Le système de coordonnées de la couche doit ensuite être défini manuellement (epsg :31370).



4. Exercice supplémentaire

4.1 Introduction

- L'exercice qui vient d'être réalisé se basait sur un MNT à faible résolution (30 m). Un rapide examen de la couche vectorielle des axes d'écoulement qui vient d'être produite au paragraphe précédent en superposition avec l'orthoimage de 2021 (ortho_2021.qlr) montre l'ampleur de l'imprécision des couches produites.



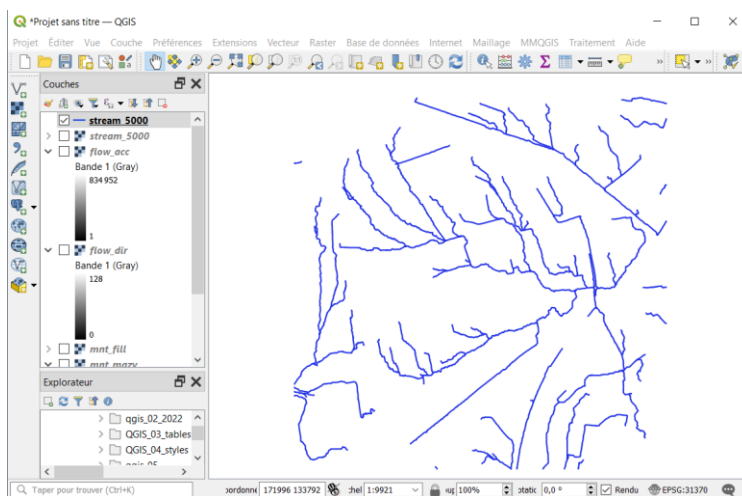
- Dans l'exercice qui va suivre, nous allons utiliser un MNT ayant une résolution de 1 m. Celui-ci couvre une partie de la localité de Mazy qui a été durement touchée lors des inondations de juillet 2021 comme le montre la figure ci-dessous (source : <http://www.canalzoom.be>)



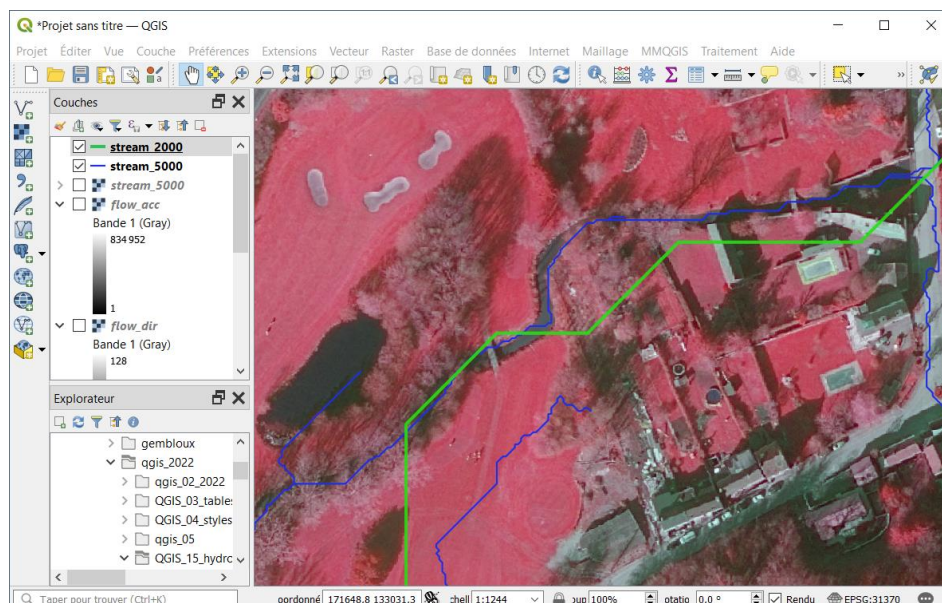
- Charger la couche **mnt_mazy.tif** dans le projet QGIS.

4.2 Création des axes d'écoulement

- Appliquer ensuite les différentes étapes présentées dans l'exercice précédent :
 - remplissage des dépressions (fonction **FillDepressionsPlanchonAndDarboux**)
 - calcul des directions d'écoulement (fonction **D8Pointer**)
 - calcul des accumulations d'écoulement (fonction **D8Flowaccumulation**)
 - seuillage de la couche d'accumulation d'écoulement (fonction **RasterStreamsToVector**) : fixer le seuil à 5000 pixels (0,5 ha)
 - vectorisation des axes d'écoulement (fonction **RasterStreamsToVector**)
- Le résultat devrait se présenter comme dans la figure suivante.

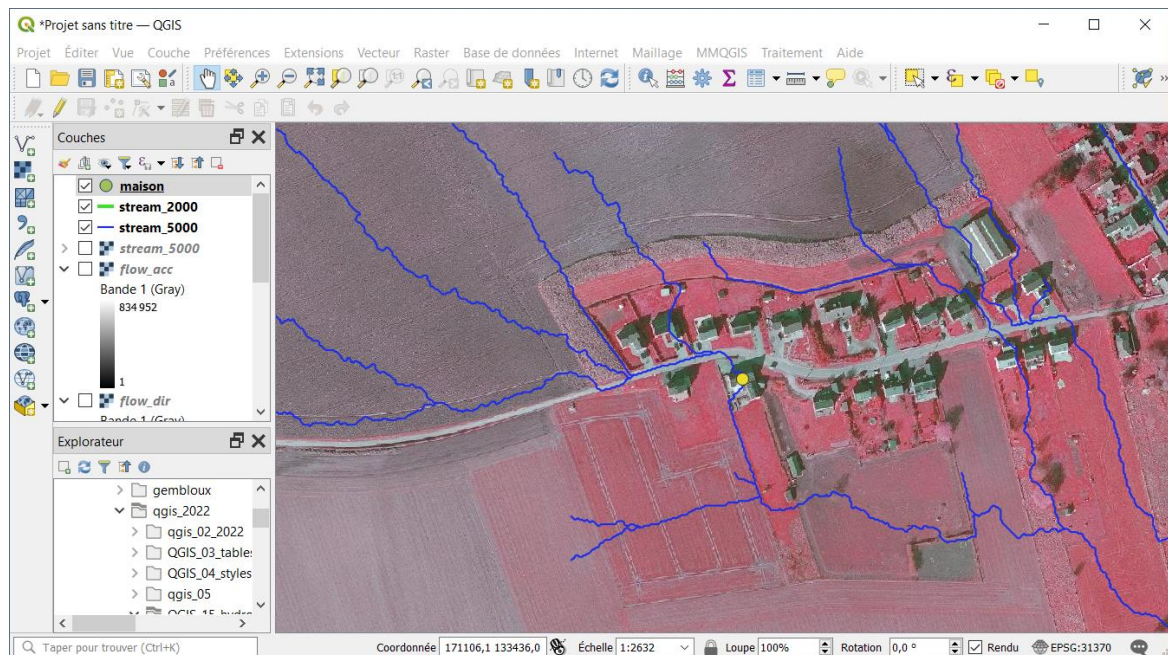


- L'analyse de ce résultat en superposition avec la couche ortho_2021 montre son niveau de précision relativement élevé. L'ajout de la couche des axes d'écoulement produite dans l'exercice précédent met clairement en évidence le niveau de qualité accru de la couche qui vient d'être produite.

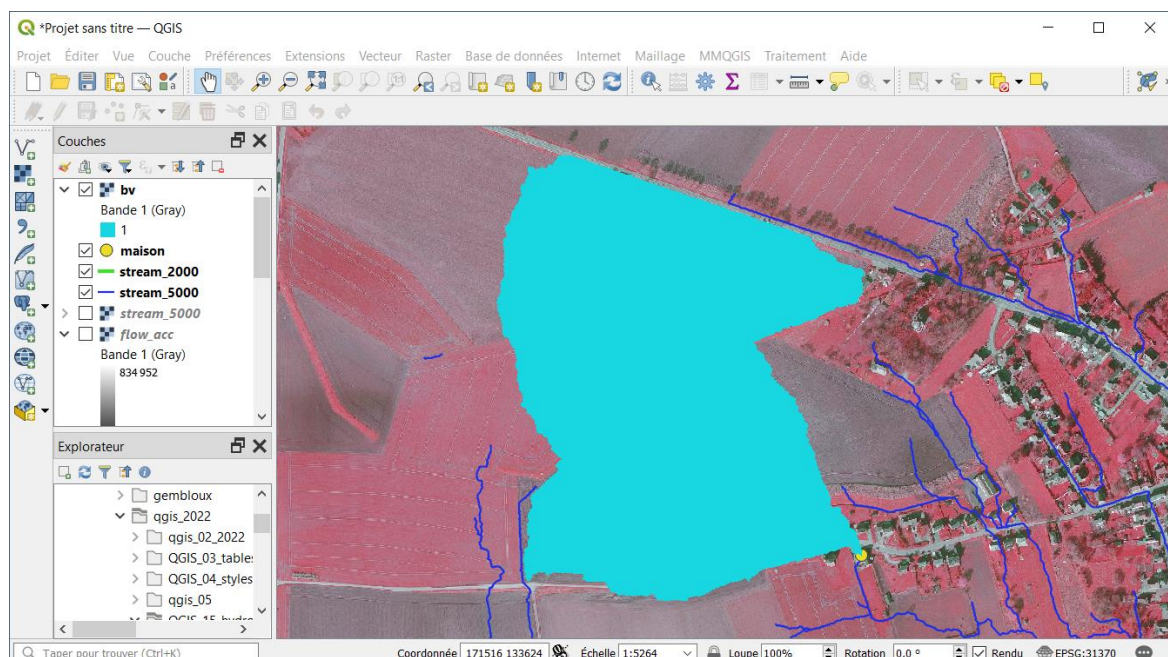


4.3 Délimitation d'un micro bassin versant

- Sur base des couches hydrologiques à haute résolution qui viennent d'être générées, nous allons maintenant estimer la taille du bassin versant se trouvant en amont d'une habitation se trouvant sur la trajectoire d'un axe d'écoulement.
- Afficher la localisation de cette habitation qui est contenue dans le fichier **maison.gpkg**.

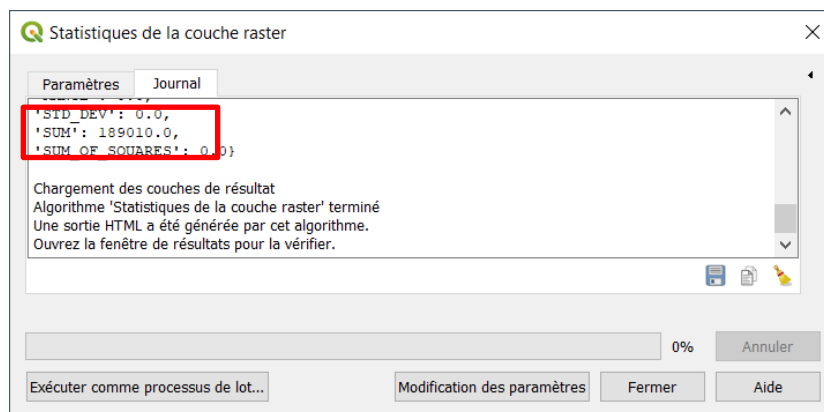
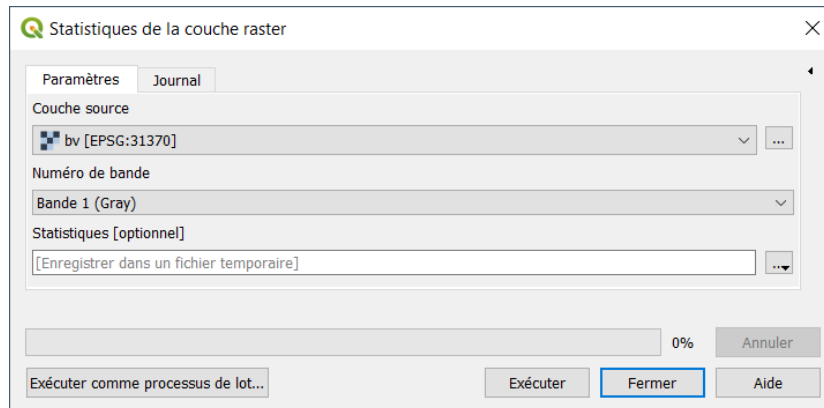


- Délimiter le bassin versant situé en amont de ce point avec la fonction **watershed**.



- Estimer ensuite la surface du bassin versant qui vient d'être créé. Il y a 2 manières d'obtenir cette information. Elles sont expliquées à la page suivante Essayer de les trouver par vous-même.

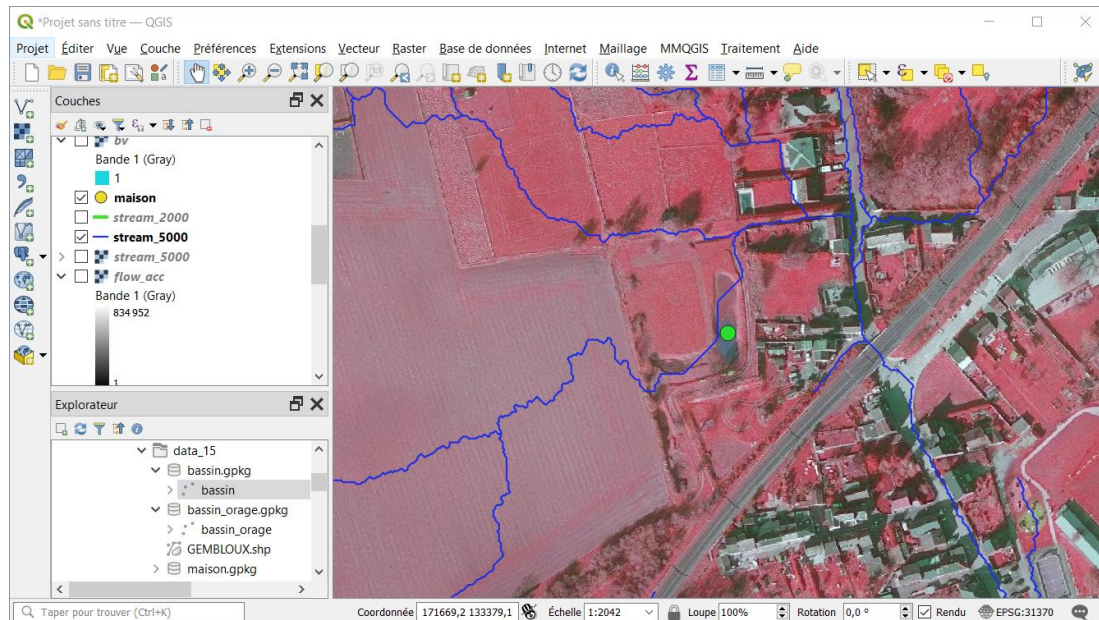
- La première possibilité consiste à générer des statistiques relatives à la couche raster bv.tif à l'aide de la fonction **Statistiques de la couche raster**. L'information peut être sauvegardée dans 1 fichier ou consultée dans l'onglet « journal » de la boîte de dialogue.



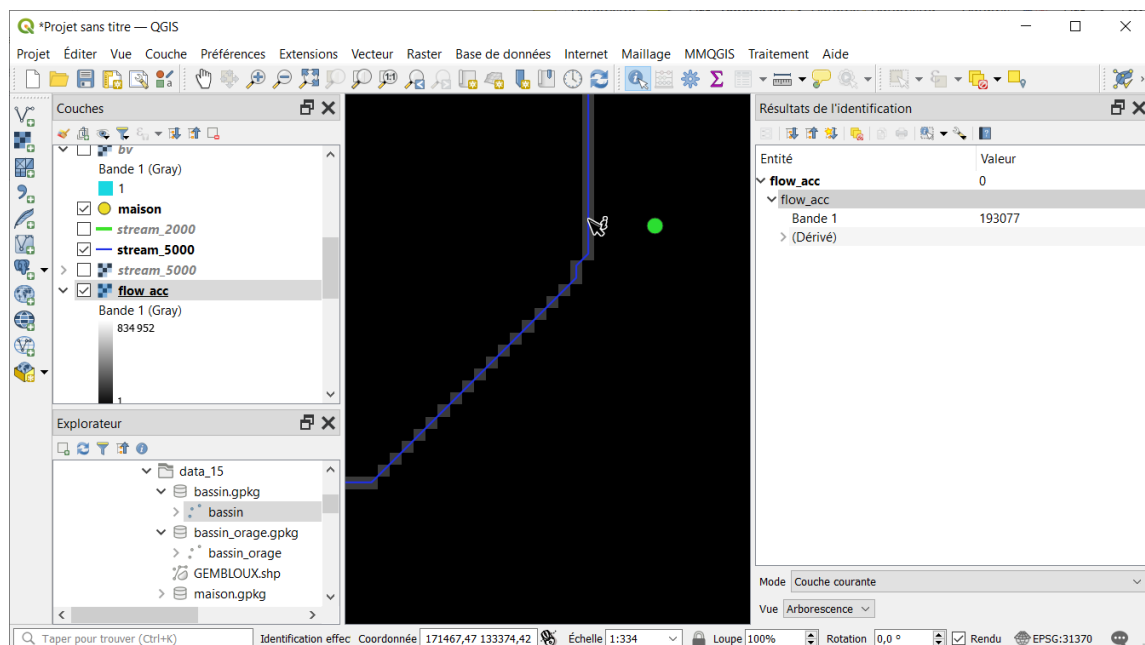
- Une autre approche consiste à polygoniser la couche raster, avec la fonction **Polygoniser** et à calculer la surface du polygone généré.

4.4 Estimation de la capacité d'un bassin de rétention

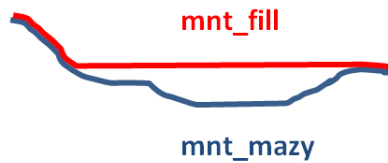
- Afficher la couche **bassin.gpkg** qui contient la localisation d'un bassin de rétention situé sur un axe d'écoulement drainant les parcelles agricoles voisines.



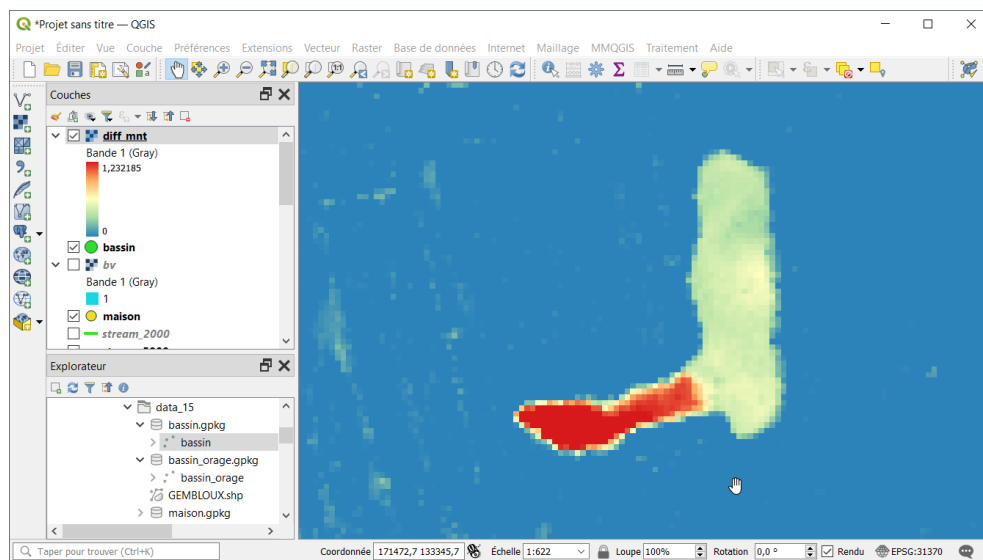
- L'analyse de la couche **flow_acc** à l'entrée du bassin de rétention permet d'évaluer la surface contributive située en amont de ce bassin. Elle est de plus de 19 ha.



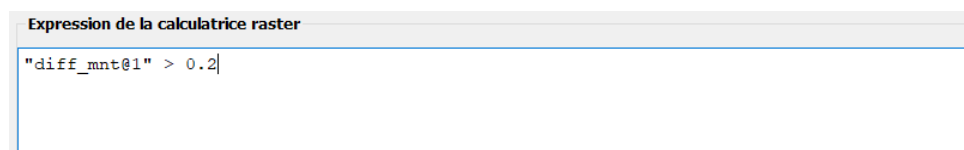
- Pour évaluer le volume de ce bassin, on peut mettre à profit les couches **mnt_mazy** et **mnt_fill**. La première correspond au relief réel, alors que la seconde correspond à un relief où les dépressions ont été rebouchées, comme illustré dans la figure qui suit.



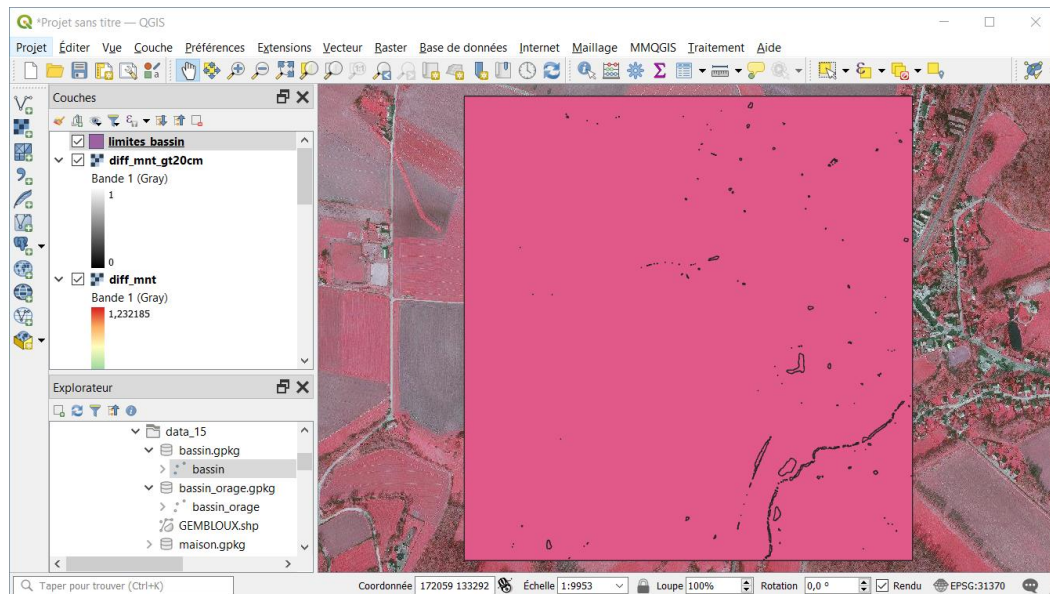
- Utiliser la calculatrice raster pour générer 1 couche correspondant à la différence entre les 2 couches (**`mnt_fill`** – **`mnt_mazy`**). Baptiser cette couche **`diff_mnt.tif`**.






- Seuiller ensuite le résultat avec une valeur de 20 cm (0,2 m)



- Procéder ensuite à la polygonisation de la couche issue du seuillage. Nommer cette nouvelle couche **`limites_bassin.gpkg`**. Le résultat devrait se présenter comme dans la figure suivante.



- Supprimer ensuite tous les polygones qui ne correspondent pas au bassin de rétention. Utiliser pour cela la barre d'outils de numérisation : mettre la couche en mode édition (), sélectionner les polygones à supprimer et cliquer sur le bouton  . Quitter le mode édition en validant les modifications ().
- La dernière étape consiste à calculer des statistiques zonales (fonction **Statistiques de zone**) en considérant le raster **diff_mnt** d'une part et la couche **limite_bassin** pour définir la zone, d'autre part.



- Le résultat est légèrement inférieur à 600 m³.

