
QGIS 15



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

Octobre 2024





TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION.....	1
1.1	INSTALLATION DE WHITEBOXTOOLS	1
1.2	INSTALLATION DU PLUGIN WHITEBOXTOOLS	2
2.	CREATION DE COUCHES HYDROLOGIQUES.....	4
2.1	INTRODUCTION	4
2.2	PREPARATION DES DONNEES	5
2.3	PRETRAITEMENT DU MNT (REPLISSAGE DES DEPRESSIONS)	6
2.4	DEFINITION DES DIRECTIONS D'ÉCOULEMENT (D8 FLOW POINTER OR FLOW DIRECTION).....	8
2.5	DEFINITION DES ACCUMULATIONS D'ÉCOULEMENT (D8 FLOW ACCUMULATION).....	9
2.6	DEFINITION DES AXES D'ÉCOULEMENT (EXTRACT STREAMS)	10
2.7	DECOUPAGE EN ISO-BASSINS VERSANTS.....	11
2.8	DECOUPAGE EN SOUS-BASSINS VERSANTS	12
2.9	DELIMITATION D'UN BASSIN VERSANT EN AMONT D'UN EXUTOIRE	13
2.10	ORDRE DES COURS D'EAU (STREAM ORDER)	15
3.	EXERCICE SUPPLEMENTAIRE	18
3.1	INTRODUCTION	18
3.2	CREATION DES AXES D'ÉCOULEMENT.....	19
3.3	DELIMITATION D'UN MICRO BASSIN VERSANT	20
3.4	ESTIMATION DE LA CAPACITE D'UN BASSIN DE RETENTION	21

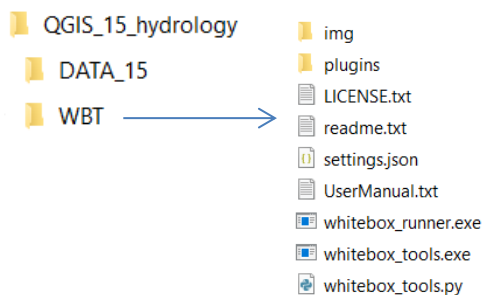


1. Introduction

- 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 bibliothèques « 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 (<https://www.whiteboxgeo.com/download-whiteboxtools/>).

1.1 Installation de WhiteboxTools

- Lorsque le fichier **QGIS_15.zip** est décompacté, le répertoire **\QGIS_15_hydrology** comporte 2 sous-répertoire : **\DATA_15** qui contient le jeu de données utilisé dans ce tutoriel et **\WBT** qui contient les fichiers nécessaires au fonctionnement de **WhiteboxTools**.



- Avant d'aller plus loin, il est important de vérifier le contenu du fichier **settings.json**. Ce dernier peut être ouvert avec n'importe quel éditeur de texte.

```

1 {
2   "verbose_mode": true,
3   "working_directory": "d:/tmp/",
4   "compress_rasters": true,
5   "max_procs": -1
6 }

```

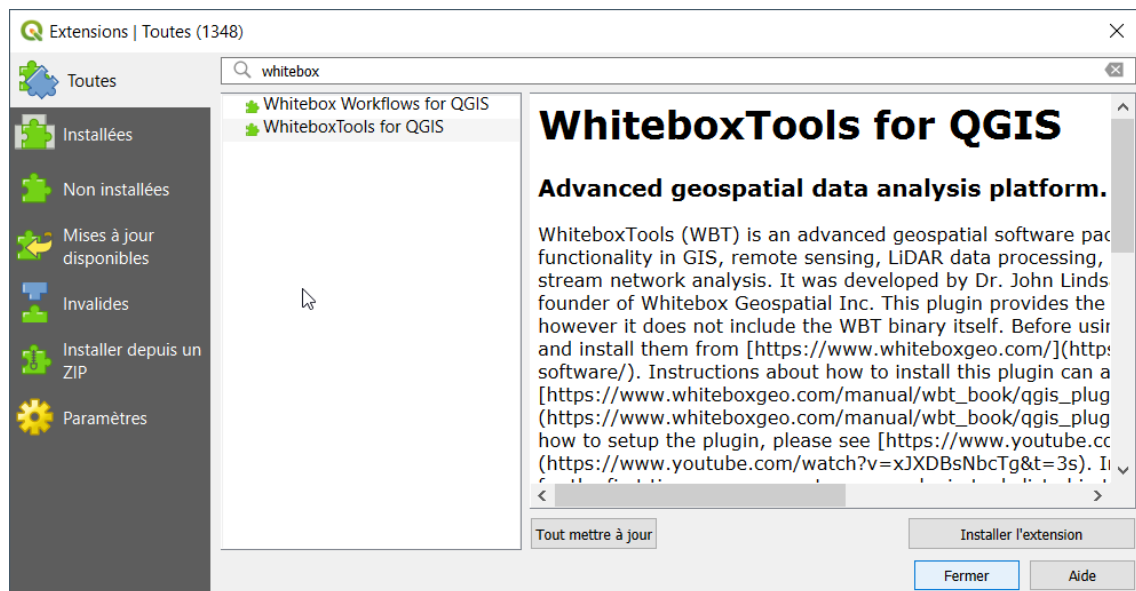



- L'élément le plus important à considérer est le nom du "working_directory". Dans l'exemple ci-dessus, le répertoire de travail est **d:/tmp**. Il est **indispensable** que ce répertoire existe réellement sur l'ordinateur utilisé! S'il n'est pas présent, il faut le créer, ou renseigner le nom d'un répertoire existant dans le fichier **settings.json**. Il est également nécessaire que l'utilisateur dispose des permissions d'écrire dans ce répertoire.

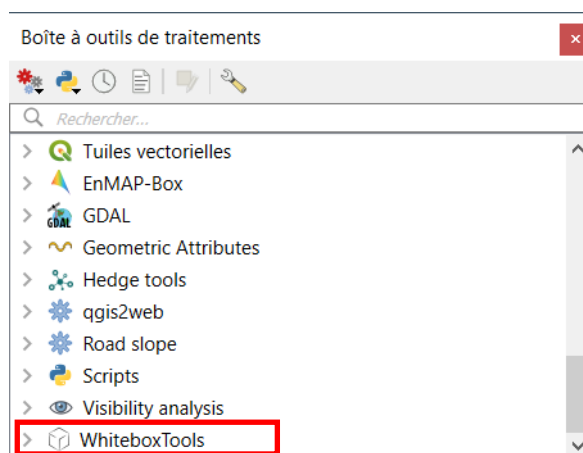


1.2 Installation du plugin WhiteboxTools


- L'étape suivante consiste à installer et paramétrer le plugin WhiteboxTools. 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 for QGIS** devrait apparaître dans la liste des extensions disponibles. Sélectionner celle-ci et cliquer ensuite sur le bouton « Installer le plugin » pour installer l'extension.
- Remarque : attention à ne pas confondre avec une autre extension **Whitebox Workflows for QGIS** qui propose des fonctionnalités équivalentes mais qui est plus récente et présentes encore des bugs.

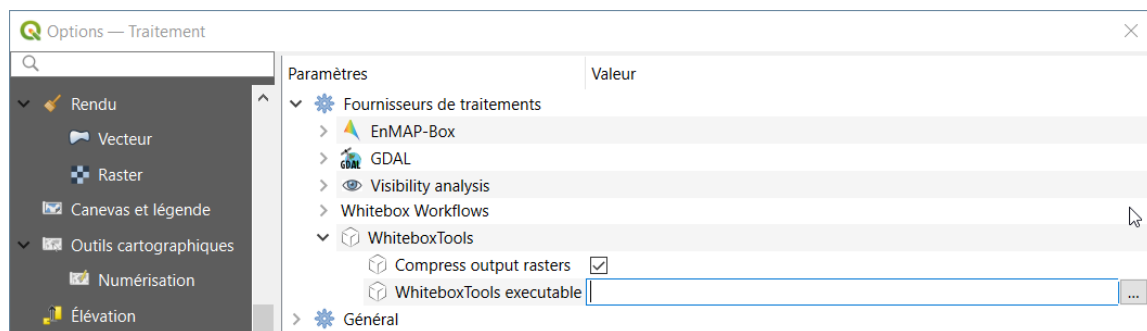



- La boîte à outils WhiteboxTools est maintenant visible dans la boîte à outils de traitements qui est affichée avec le bouton  (menu « Traitement »).

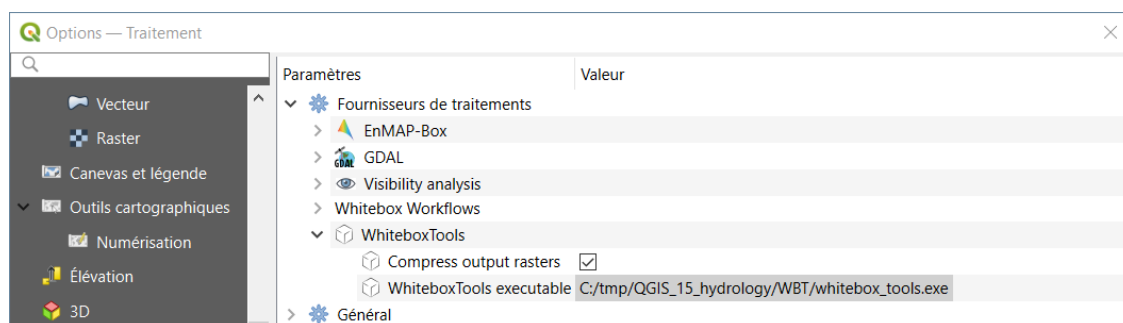




- Pour rendre celle-ci opérationnelle, il faut définir ses paramètres en accédant aux propriétés de la boîte à outils de traitements avec le bouton .
- Ouvrir ensuite l'onglet « Fournisseurs de services » qui reprend les différentes applications accessibles depuis l'environnement QGIS.
- Ouvrir l'onglet « WhiteboxTools ». Celui-ci contient un paramètre correspondant à l'emplacement de l'exécutable **whitebox_tools.exe**. Celui-ci doit normalement se trouver dans le répertoire `\WBT`.



- Indiquer ce chemin en cliquant sur le bouton  situé à droite de la rubrique « WhiteboxTools executable » et localiser le répertoire `\WBT` et le fichier **whitebox_tools.exe**.



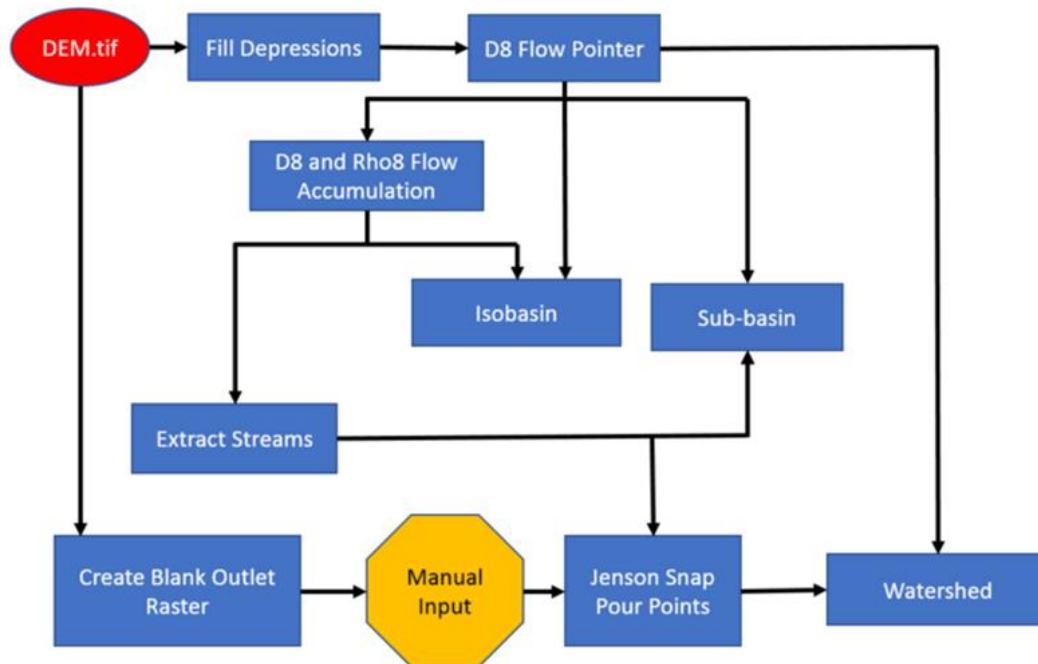
- Les outils de la **whitebox_tools** sont maintenant opérationnels.



2. Création de couches hydrologiques

2.1 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>).

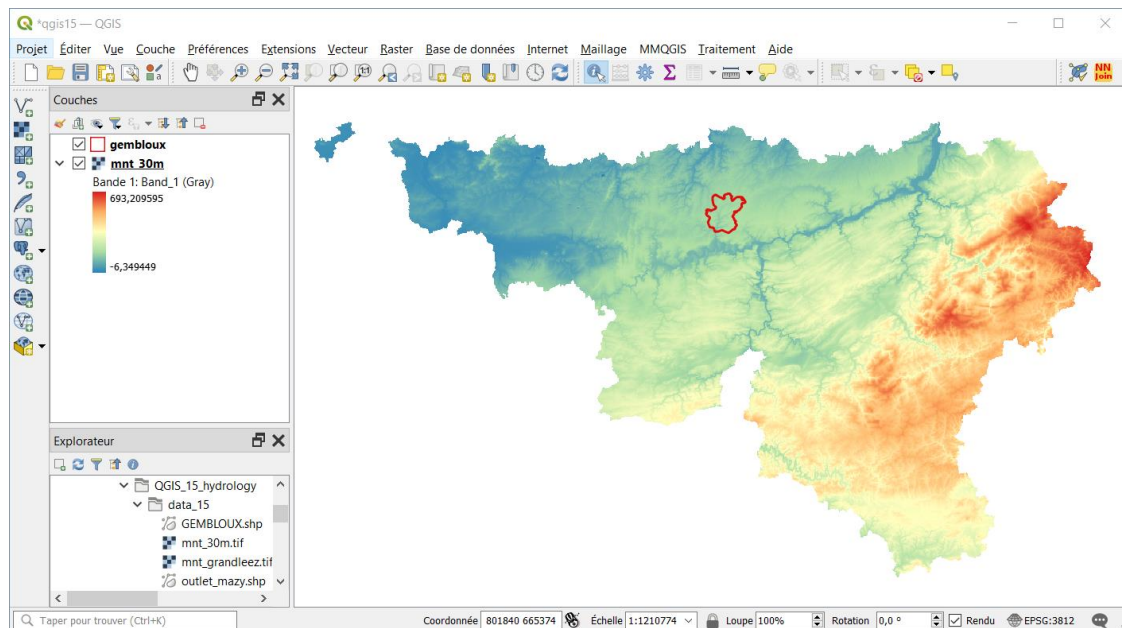


- Les différentes étapes sont présentées dans les paragraphes qui suivent en considérant comme zone test la commune de Gembloux.
- Remarque :** les fonctionnalités relatives aux fonctions hydrologiques sont rangées dans deux sous-répertoires de la boîte à outils WhitetoolBox : Hydrological Analysis et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

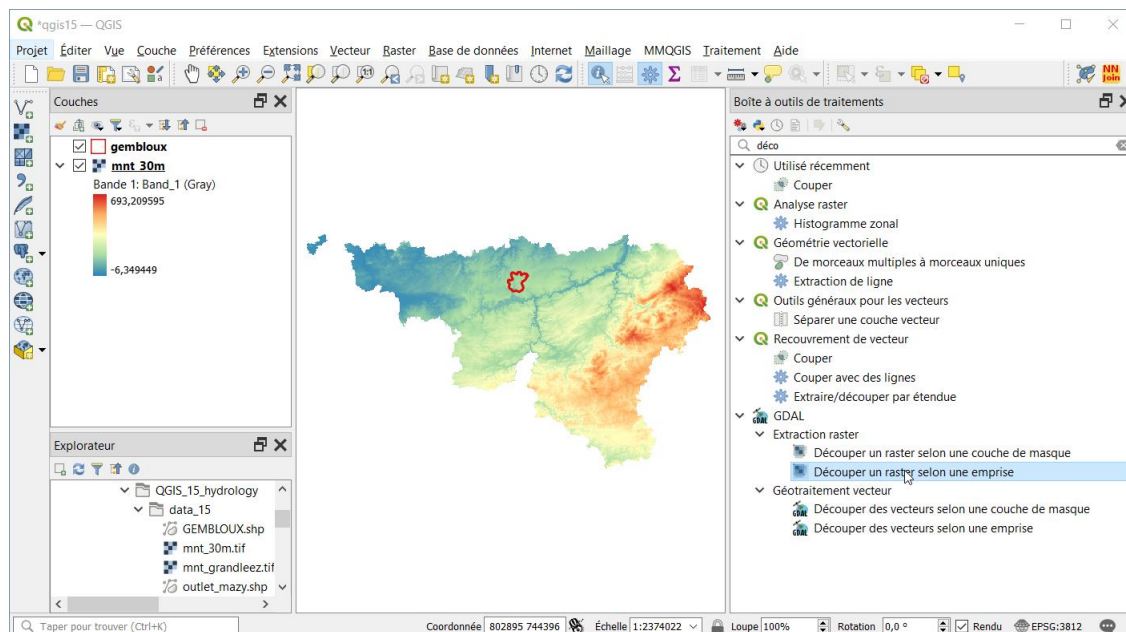
- ▼ WhiteboxTools
 - ▶ Data Tools
 - ▶ Geomorphometric Analysis
 - ▶ GIS Analysis
 - ▶ GIS Analysis - Distance Tools
 - ▶ GIS Analysis - Overlay Tools
 - ▶ GIS Analysis - Patch Shape Tools
 - ▶ Hydrological Analysis
 - ▶ Image Processing Tools
 - ▶ Image Processing Tools - Classification
 - ▶ Image Processing Tools - Filters
 - ▶ Image Processing Tools - Image Enhancement
 - ▶ LiDAR Tools
 - ▶ Machine Learning
 - ▶ Math and Stats Tools
 - ▶ Precision Agriculture
 - ▶ Stream Network Analysis
 - ▶ Whitebox Utilities

2.2 Préparation des données

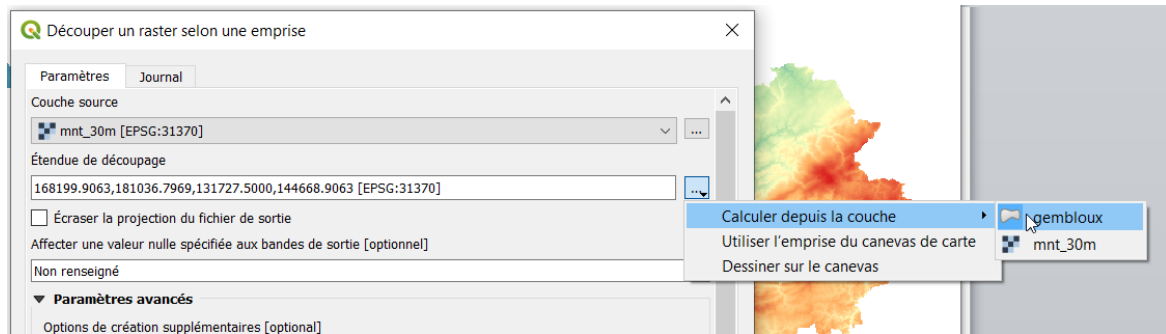
- Charger le fichier **mnt_30m.tif** dans un nouveau projet QGIS. Celui-ci contient un Modèle Numérique de Terrain couvrant la Wallonie et possédant une résolution de 30 m.
- Afficher également la couche contenue dans le fichier **gembloux.shp**. Celle-ci contient les limites de la commune de Gembloux.



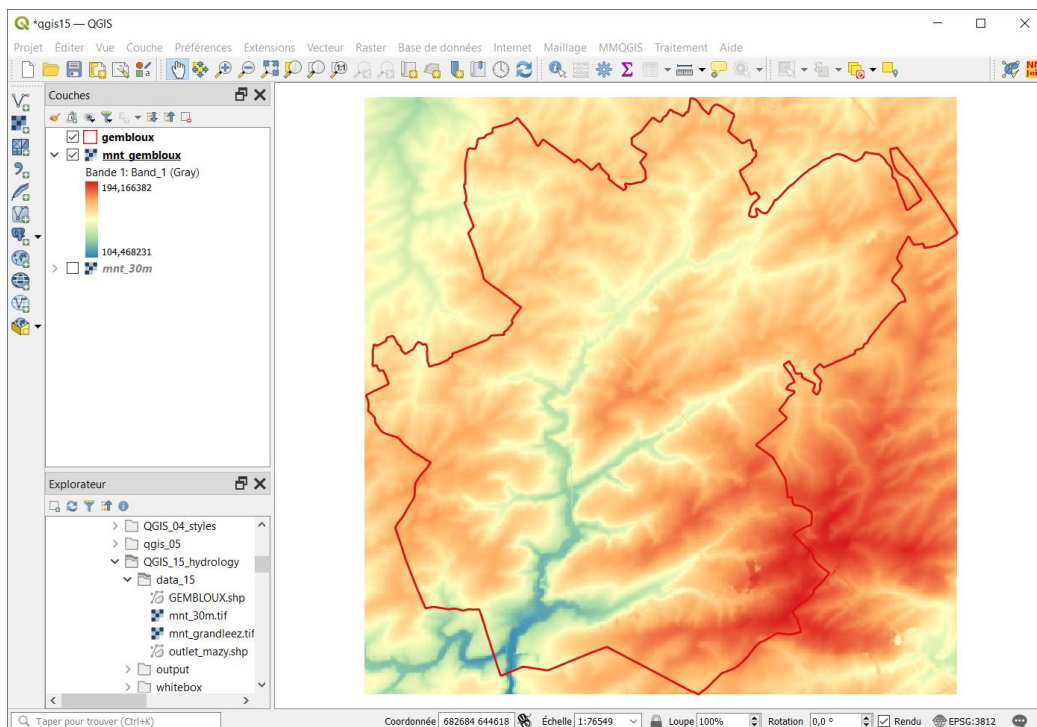
- Pour la suite de l'exercice, les traitements porteront sur un MNT dont l'emprise est limitée à la commune de Gembloux. Pour créer ce MNT d'emprise réduite, ouvrir la commande « Découper un raster selon une emprise » depuis la boîte à outils de traitements.



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

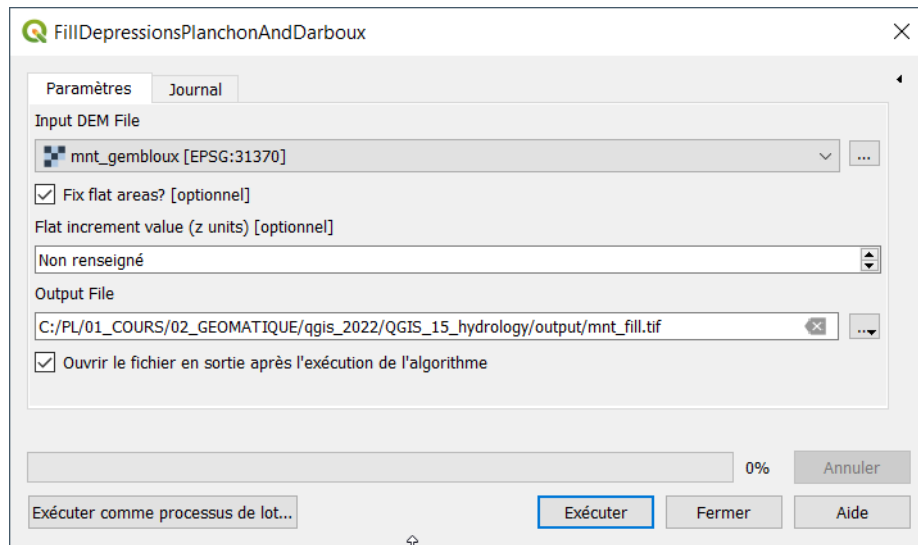


- Sauvegarder le résultat dans un fichier baptisé **mnt_gembloux.tif**.



2.3 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 ». Nommer la couche **mnt_fill.tif**.

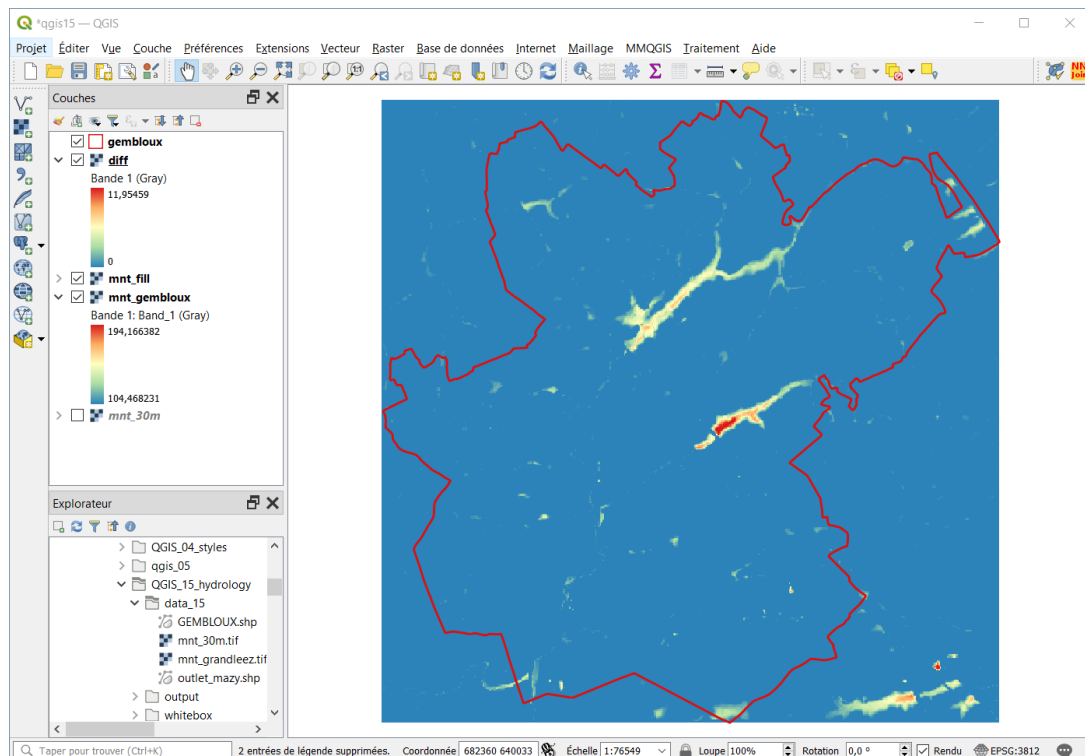


- Pour bien comprendre l'impact de cette étape du traitement, utiliser la calculatrice raster pour générer une couche mettant en évidence la différence entre le MNT original et le MNT modifié.

Expression de la calculatrice raster

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

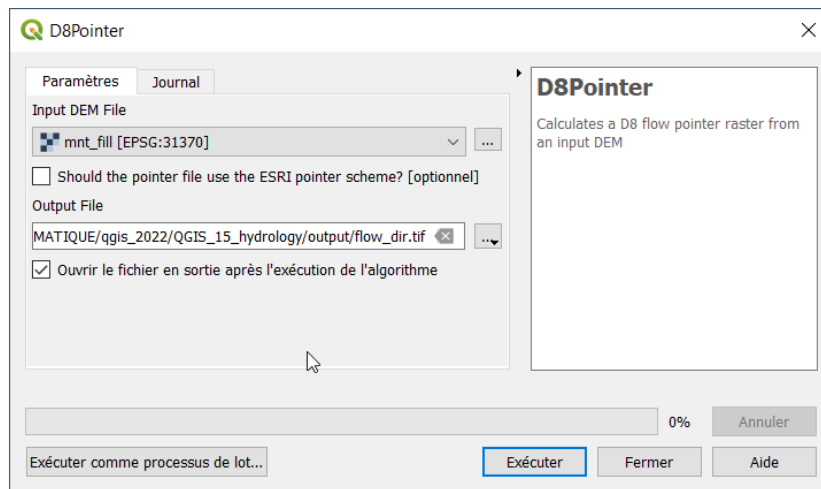
- Le résultat devrait se présenter comme dans la figure suivante. Essayer de comprendre les raisons de ces différences. Pour cela, utiliser l'orthoimage disponible en webservice et accessible avec le fichier de définition de couche **ortho_2021.qlr**.



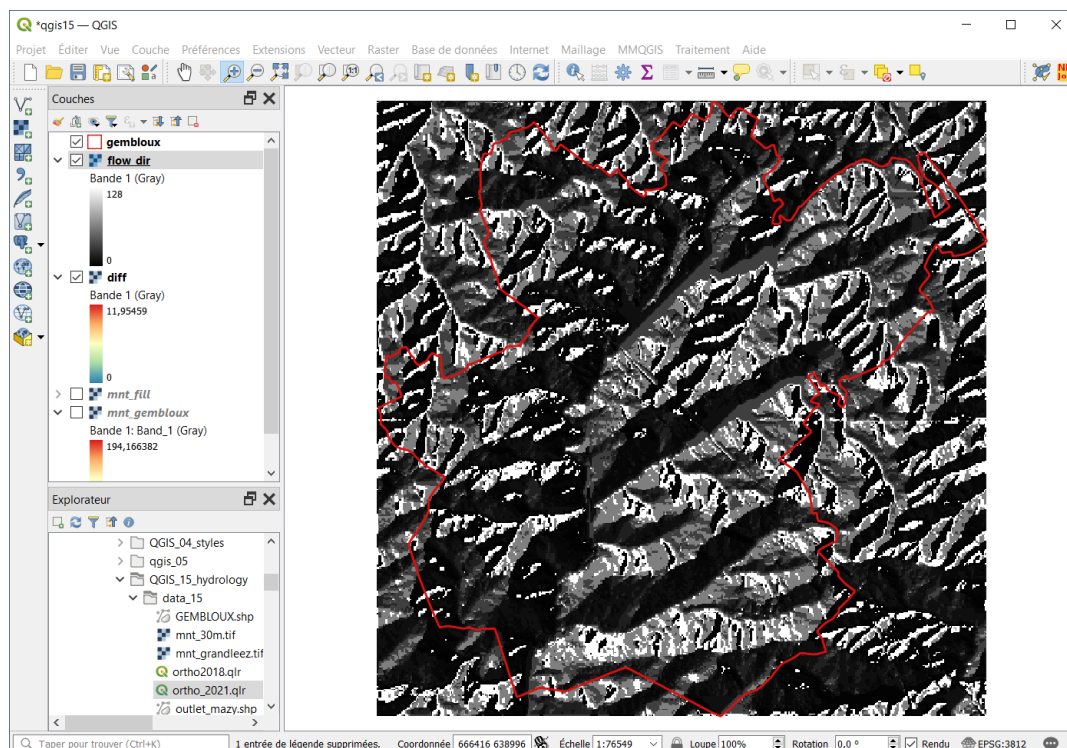


2.4 Définition des directions d'écoulement (D8 Flow Pointer or Flow Direction)

- 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 la dénivellée relative la plus importante.
- 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**.



- **Remarque très importante** : ne pas confondre les commandes **D8Pointer** et **FD8Pointer**.
- Le résultat devrait se présenter comme dans la figure suivante.



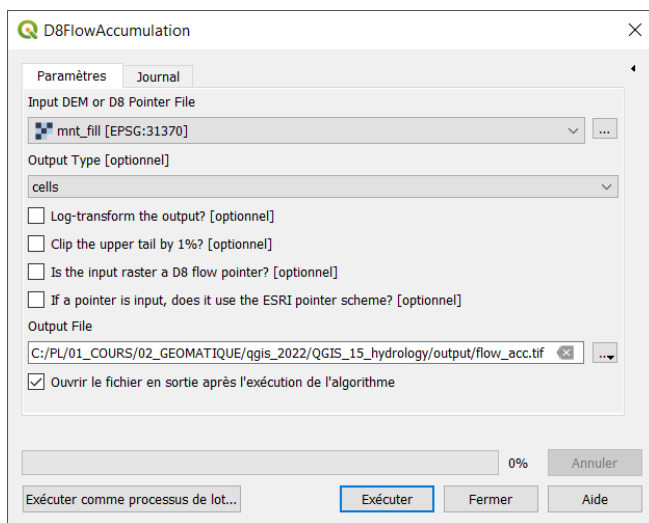


- Les valeurs attribuées aux pixels sont basées sur la codification suivante : la valeur « 1 » correspond à un écoulement vers le Nord-Est, la valeur « 2 » à un écoulement vers l'Est...

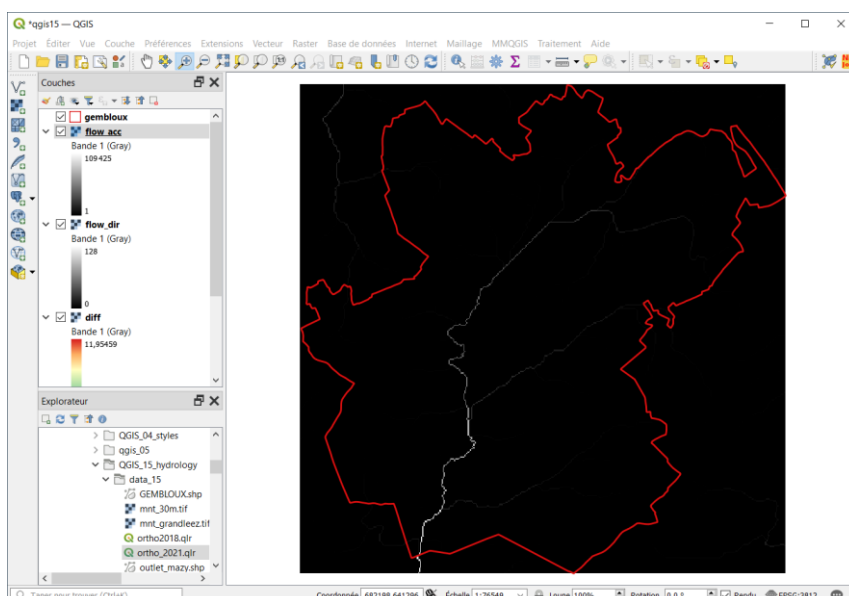
64	128	1
32	0	2
16	8	4

2.5 Définition des accumulations d'écoulement (D8FlowAccumulation)

- 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**.

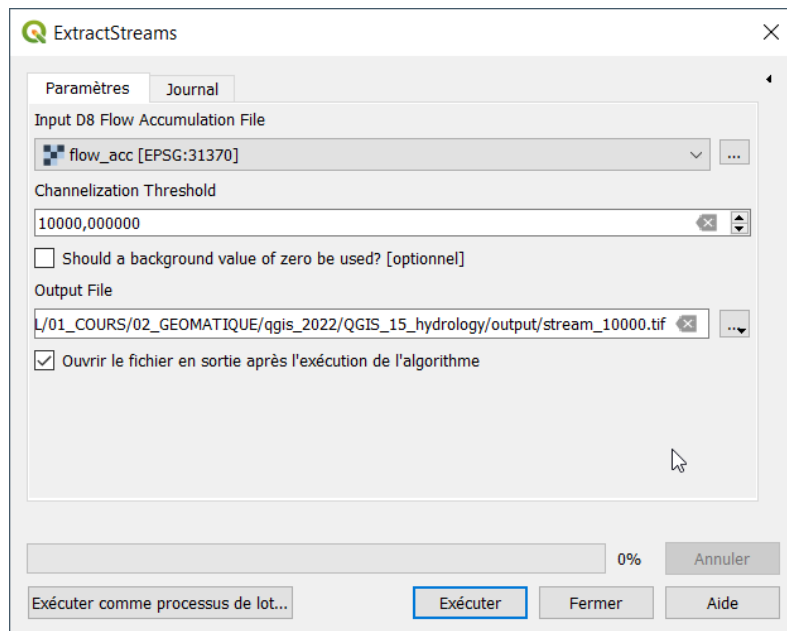


- **Remarque très importante** : ne pas confondre les commandes **D8FlowAccumulation** et **F** **D8FlowAccumulation**.
- Le résultat devrait se présenter comme dans la figure suivante.

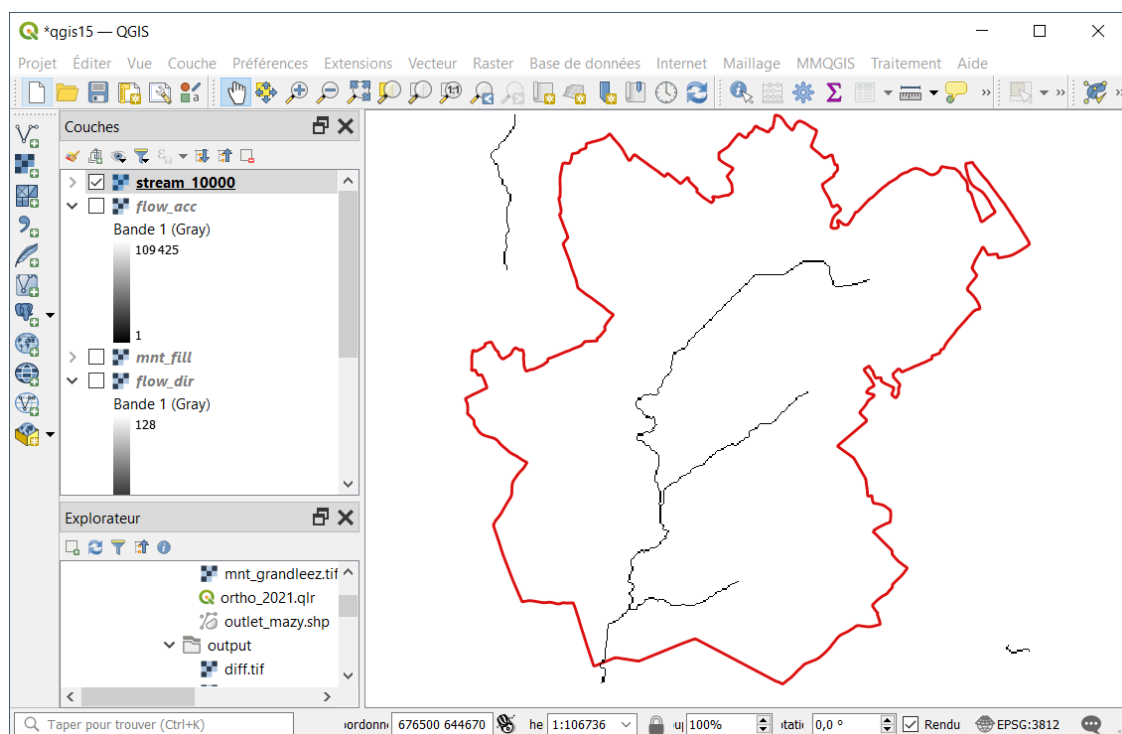


2.6 Définition des axes d'écoulement (Extract Streams)

- 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. Nommer la couche produite **stream_10000.tif**.

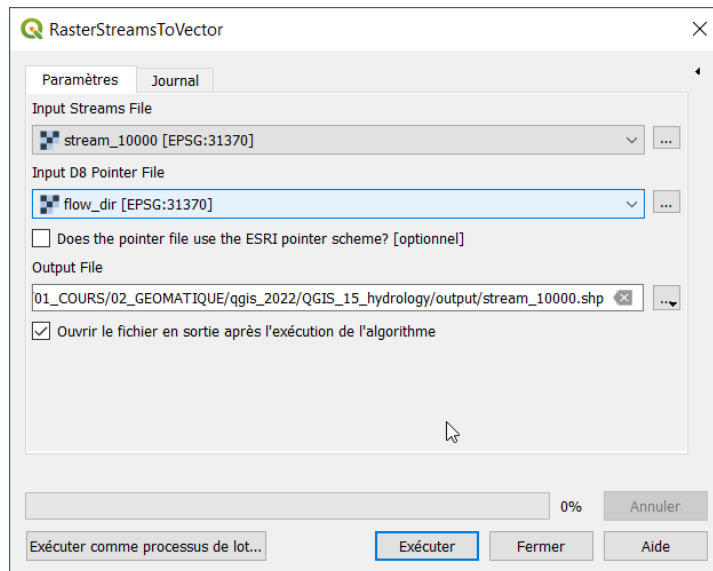


- Le résultat se présente comme dans la figure ci-dessous.

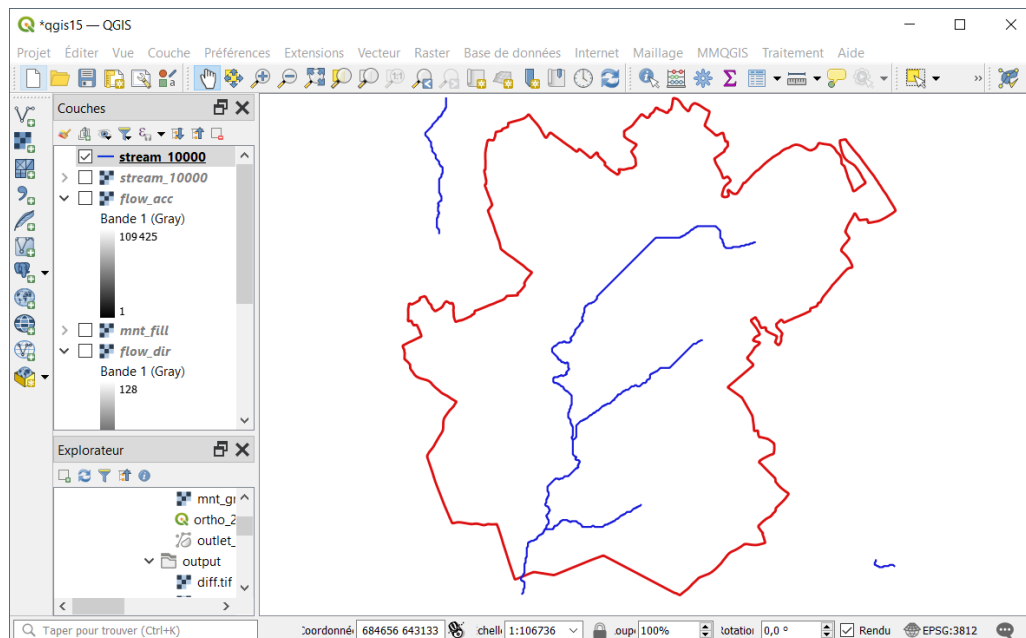




- La version raster décrivant les axes d'écoulement peut être vectorisée avec la fonction « **RasterStreamsToVector** ». Les données d'entrée pour celle-ci sont la couche raster qui vient d'être produite, ainsi que la couche de direction d'écoulement.
- **Remarque importante** : la couche vectorielle de sortie DOIT être sauvegardée dans un shapefile.



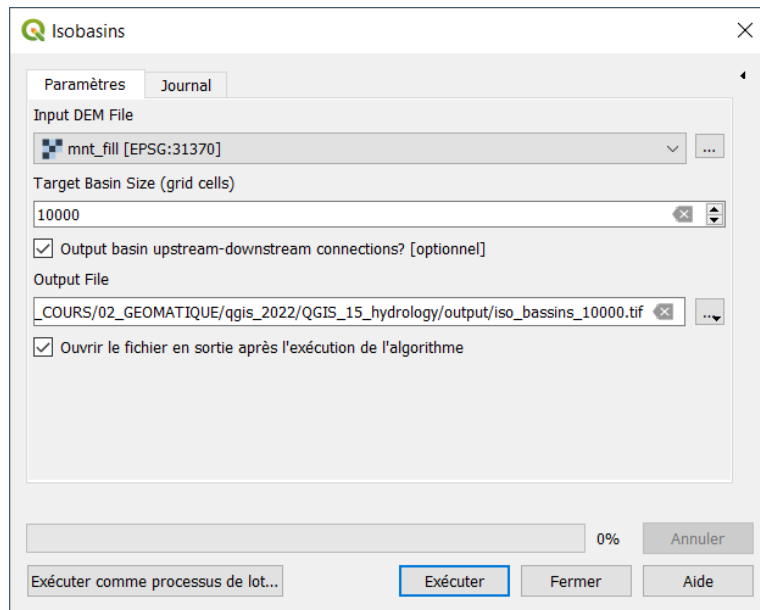
- Pour visualiser le résultat correctement, il convient de définir manuellement son CRS (EPSG : 31370).



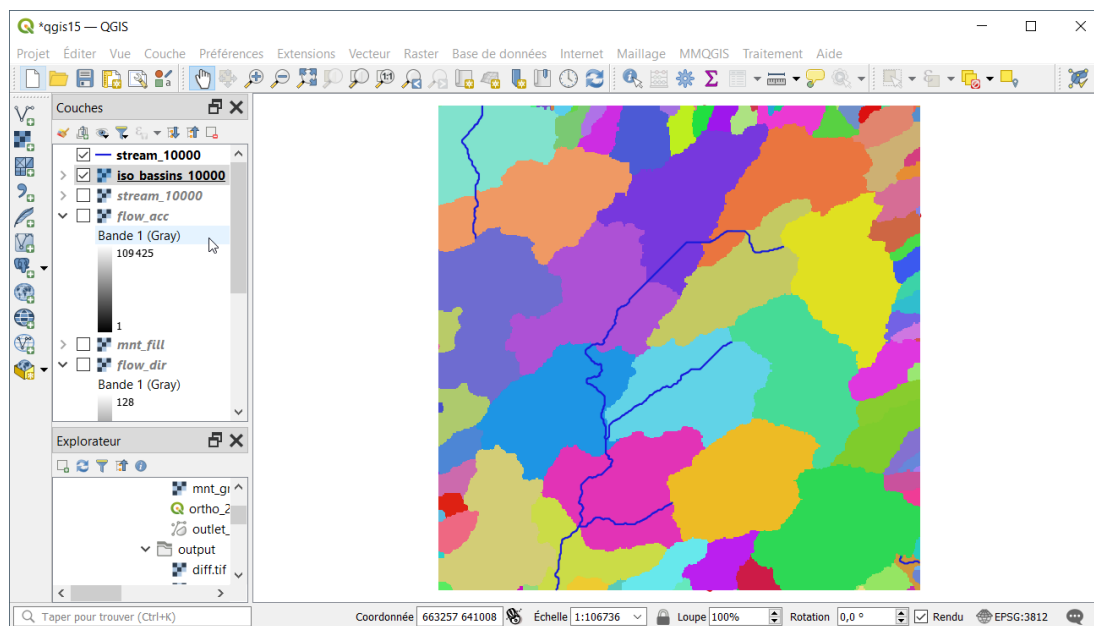
2.7 Découpage en iso-bassins versants

- 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 à l'aide de la fonction « **Isobasins** ». Nommer la couche **iso_bassins_10000.tif**.

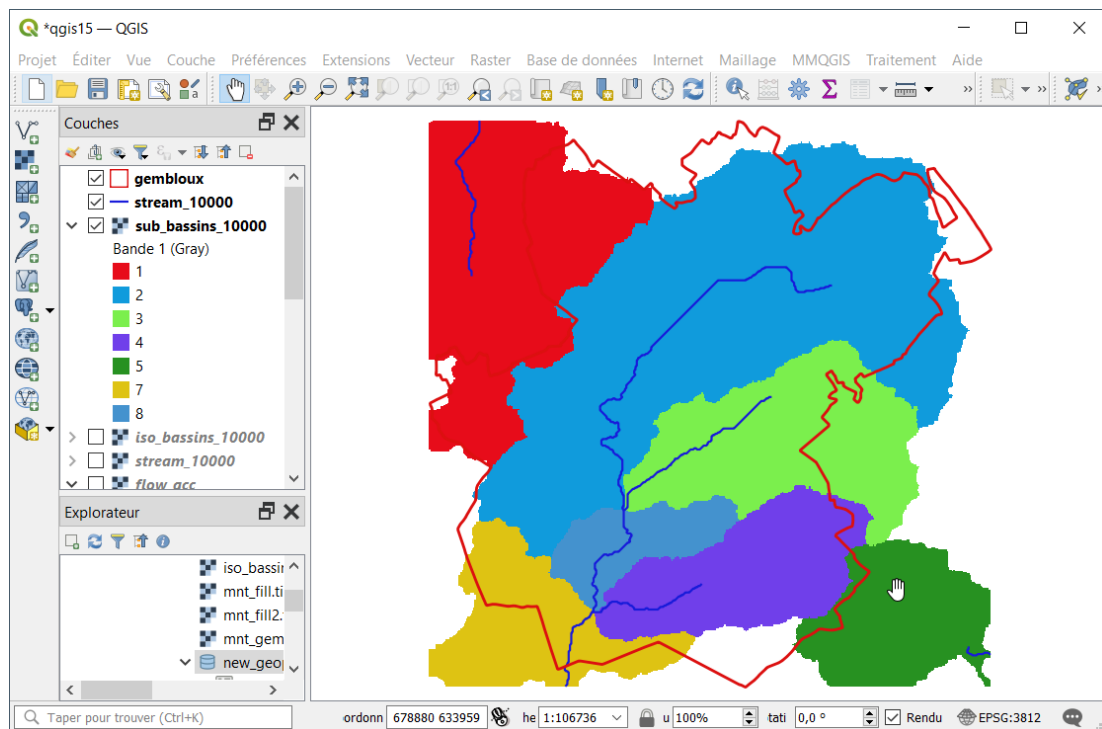
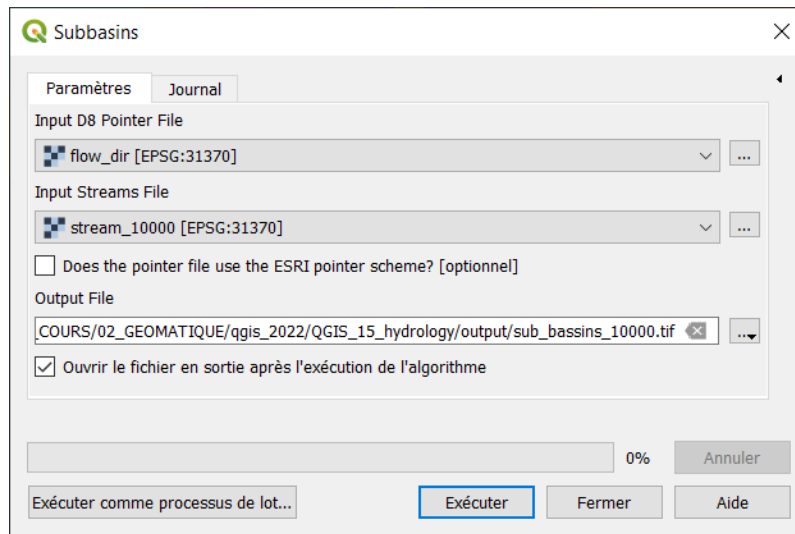


- Le résultat se présente comme dans la figure ci-dessous. Une symbologie de type « Palette/Valeurs uniques » a été appliquée.



2.8 Découpage en sous-bassins versants

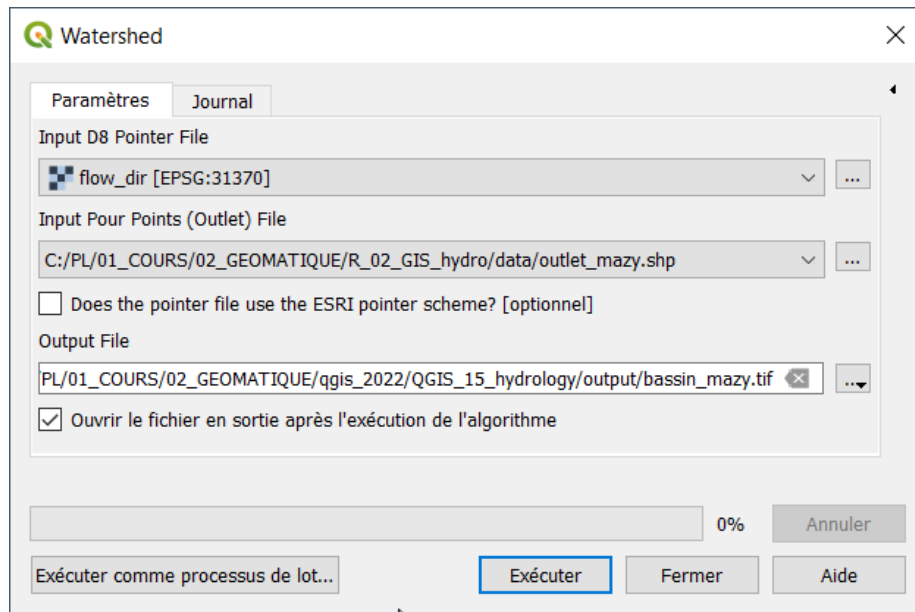
- Une autre approche pour la délimitation de bassins versants est de baser celle-ci sur les axes d'écoulement qui ont été définis au § 2.6. Dans ce cas, on utilise la fonction « **Subbasins** ». Nommer la couche **sub_bassins_10000.tif**.



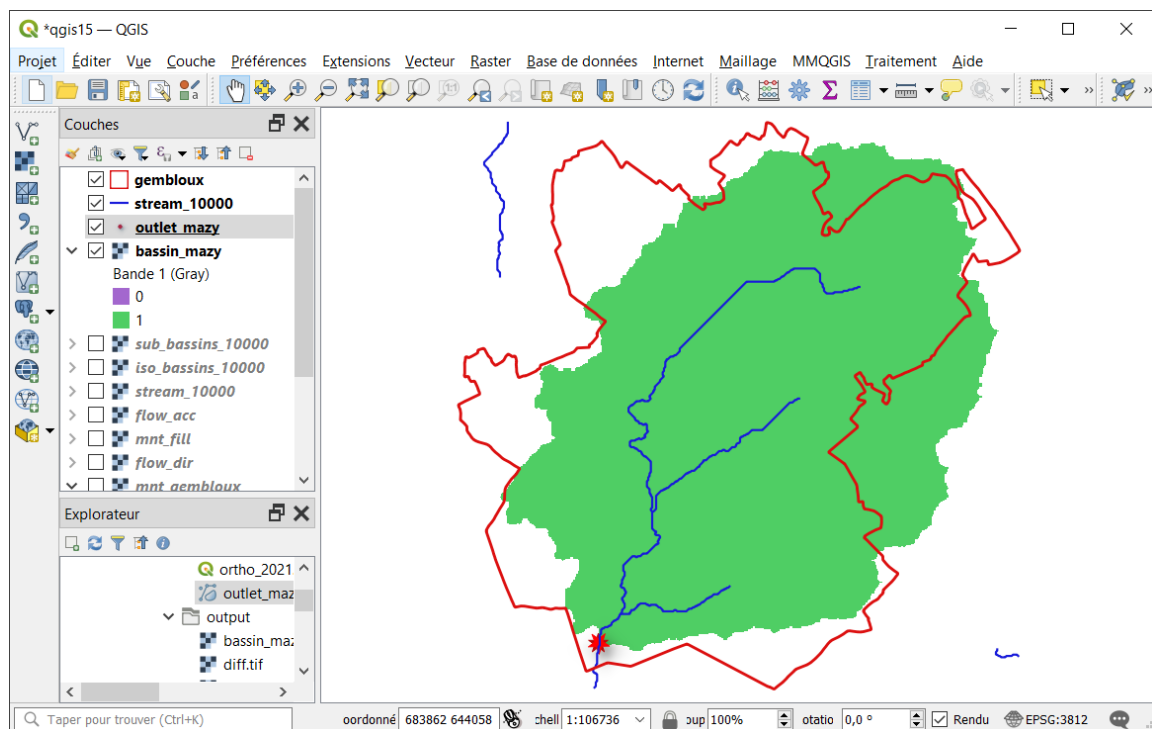
- **Remarque importante** : dans la figure ci-dessus, les bassins versants 1 (rouge), 5 (vert foncé) et 7 (jaune) sont incomplets en raison d'effets de bords liés à l'emprise du MNT de départ.

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

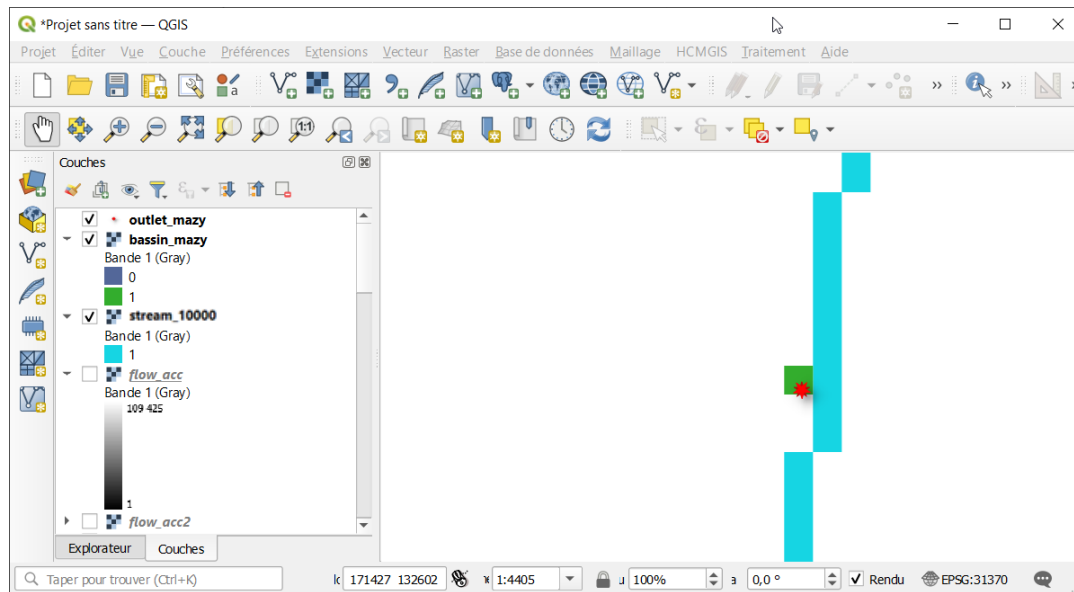
- On peut aussi délimiter un bassin versant en définissant son exutoire. On utilise pour cela la fonction « **watershed** ».
- Afficher dans le projet la couche **outlet_mazy.shp**.
- Définir les paramètres de la fonction « watershed » comme dans la figure suivante. Nommer la couche **bassin_mazy.tif**.




- Le résultat devrait se présenter comme suit.

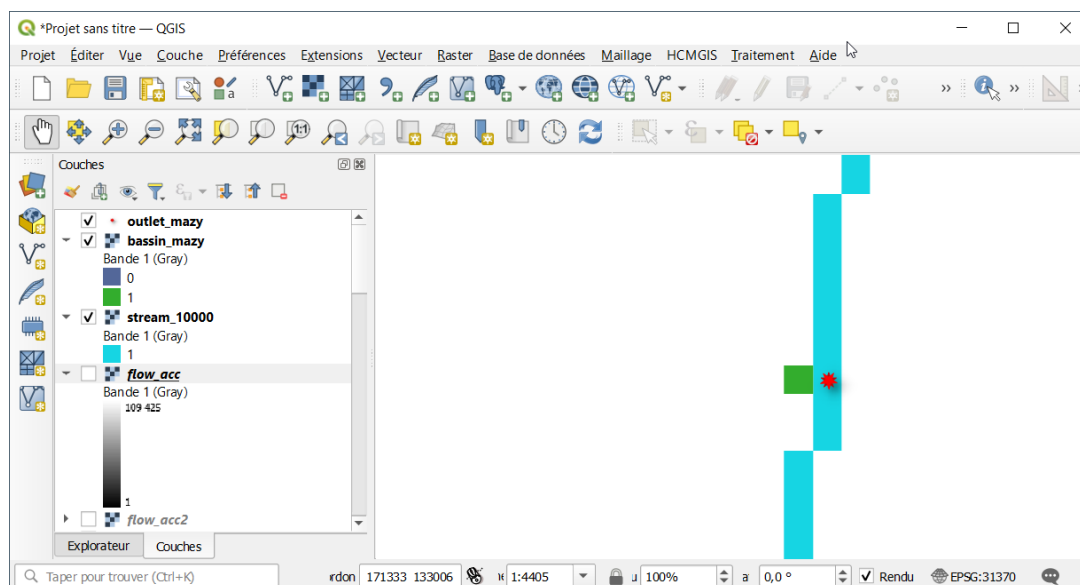


- On constate cependant que la couche **bassin_mazy.tif** est très différente de ce résultat. En zoomant très fort sur l'exutoire du bassin versant, on remarque que le point représentant l'exutoire n'est pas positionné correctement. Il est placé à côté de l'axe d'écoulement.



- Pour corriger ce problème, il faut éditer la couche outlet_mazy et déplacer le point pour qu'il se trouve dans 1 pixel appartenant à l'axe d'écoulement représenté par la couche **stream_10000**.

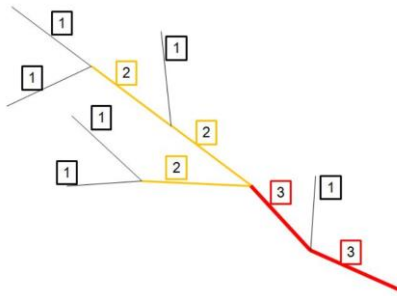
Il faut pour cela utiliser l'outil « déplacer des entités » () de la barre d'outils « Numérisation avancée ».



- Il faut ensuite exécuter à nouveau la fonction Watershed.

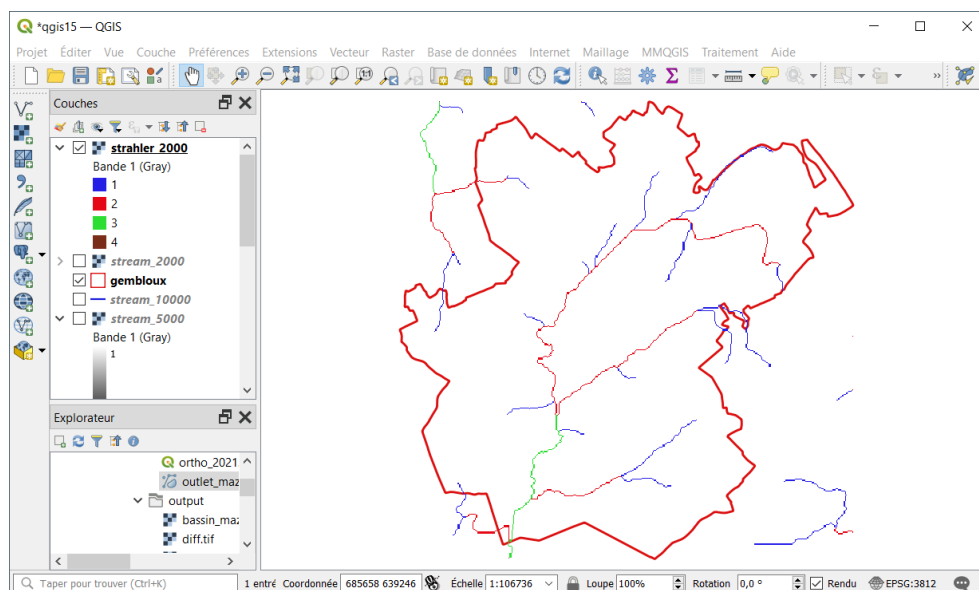
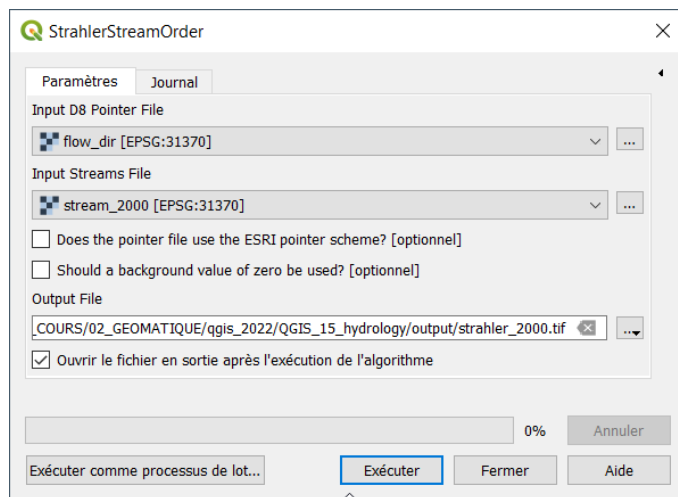
2.10 Ordre des cours d'eau (Stream Order)

- 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>).



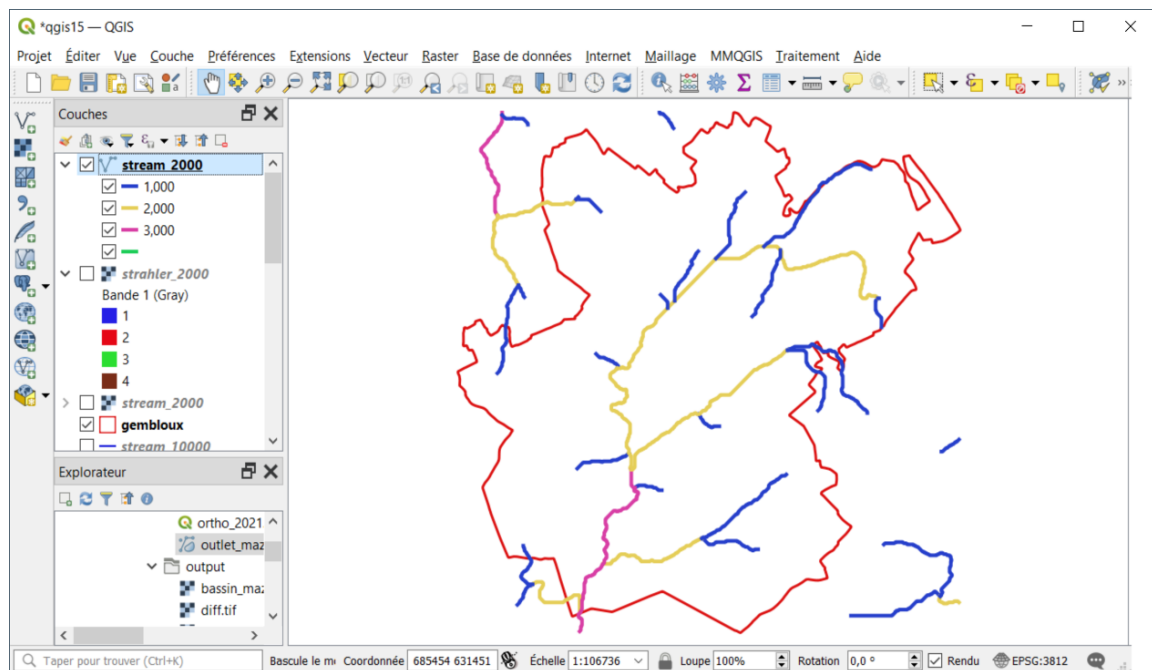
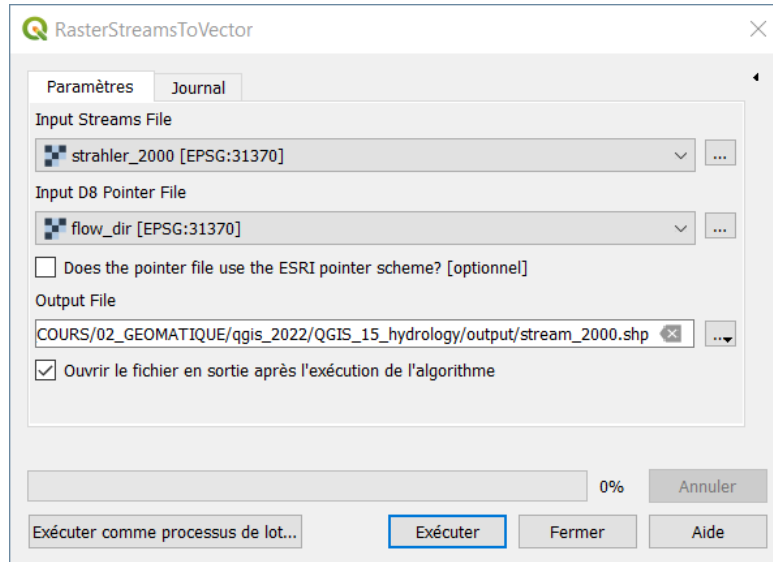
Représentation schématique de l'ordre de Stralher
(<http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr>)

- 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 Stralher pour les axes ainsi définis avec la fonction « **StrahlerStreamOrder** », en définissant les paramètres comme dans la figure qui suit. Nommer la couche **strahler_2000.tif**.





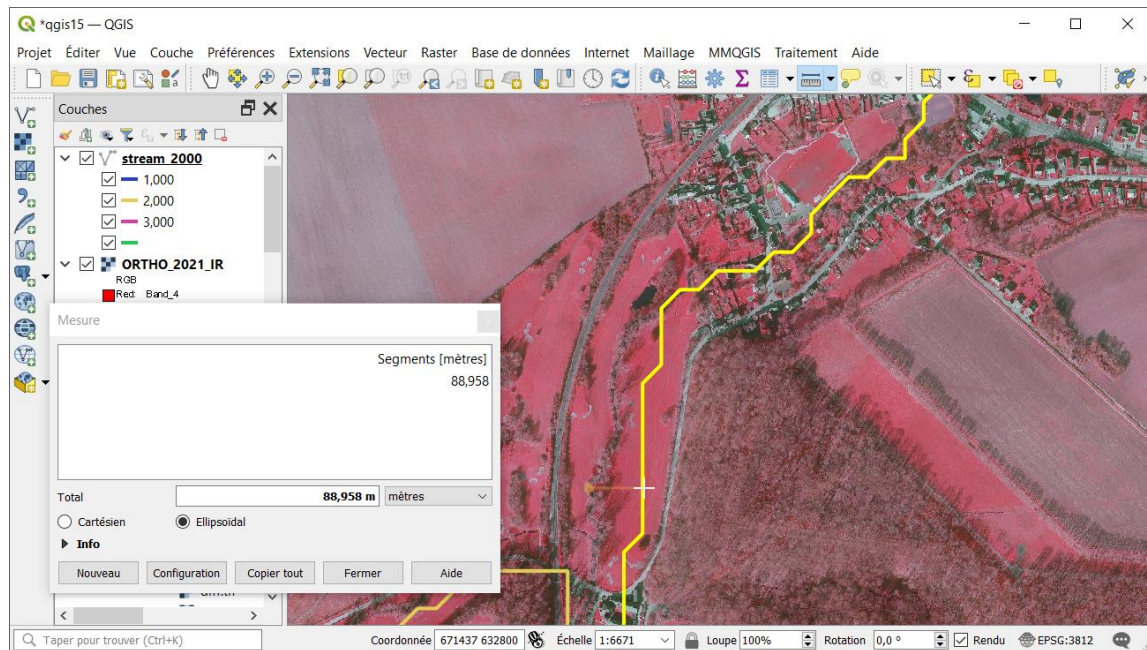
- La couche raster qui vient d'être produite peut être vectorisée avec la fonction « **RasterStreamsToVector** » en veillant à créer un shapefile. Le système de coordonnées de la couche doit ensuite être défini manuellement (EPSG : 31370).



3. Exercice supplémentaire

3.1 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>).

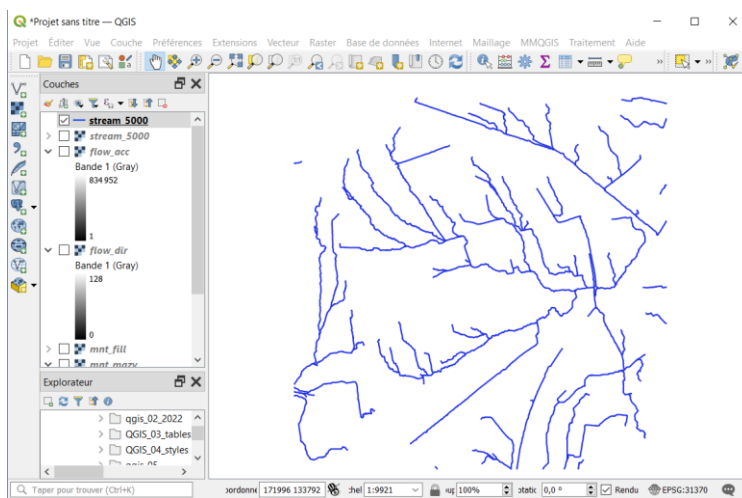


- Charger la couche **mnt_mazy.tif** dans le projet QGIS.

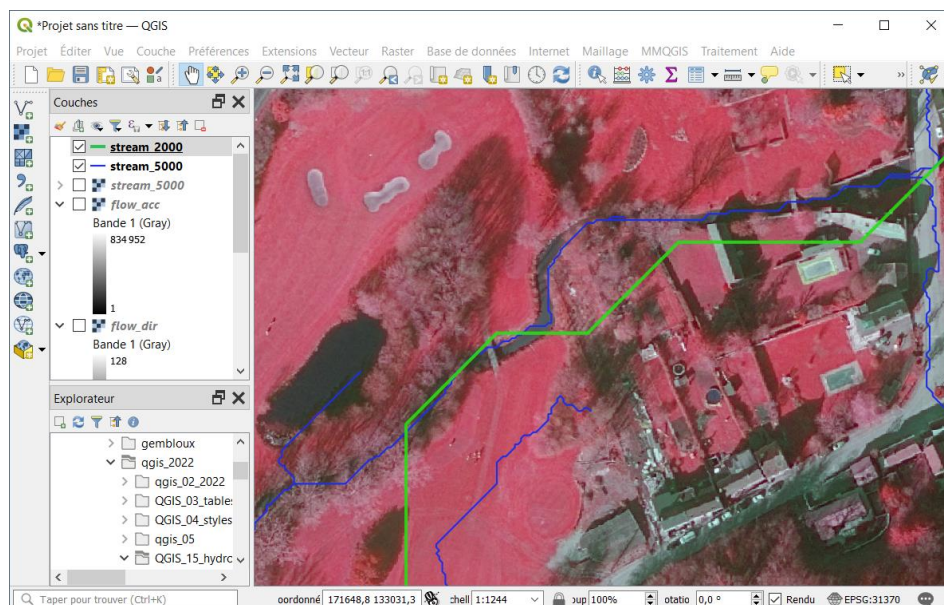


3.2 Création des axes d'écoulement

- 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 « **ExtractStreams** ») : 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.

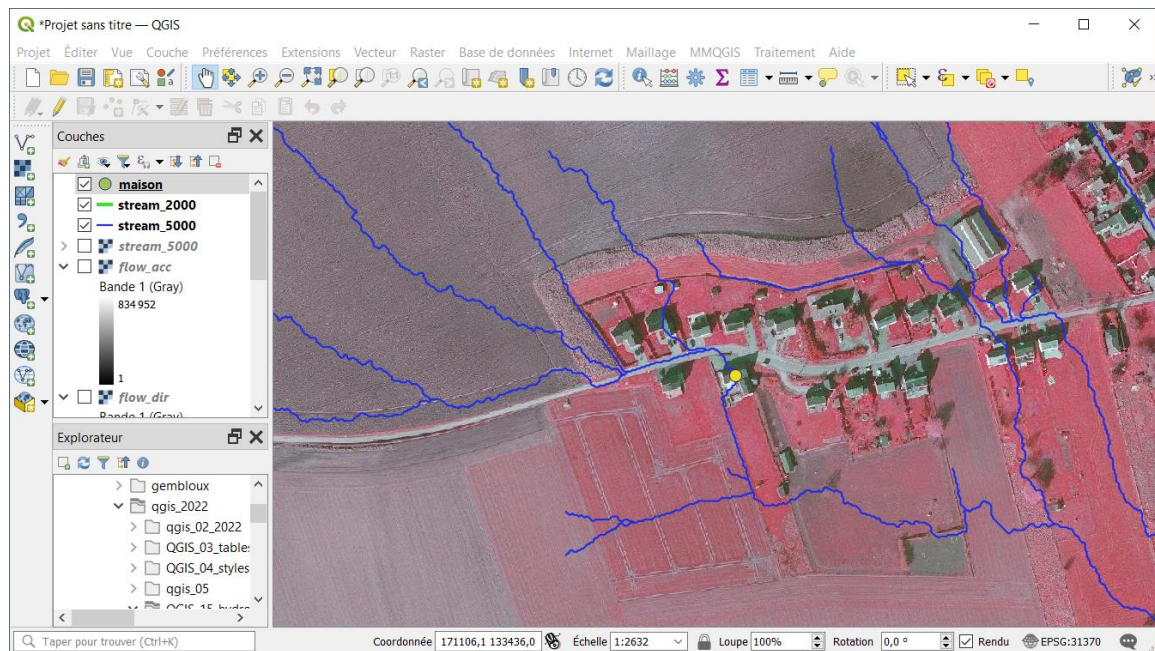


- L'analyse de ce résultat en superposition avec la couche ortho_2021 montre son niveau de précision relativement élevé. L'ajout de la couche des axes d'écoulement produite dans l'exercice précédent met clairement en évidence le niveau de qualité accru de la couche qui vient d'être produite.

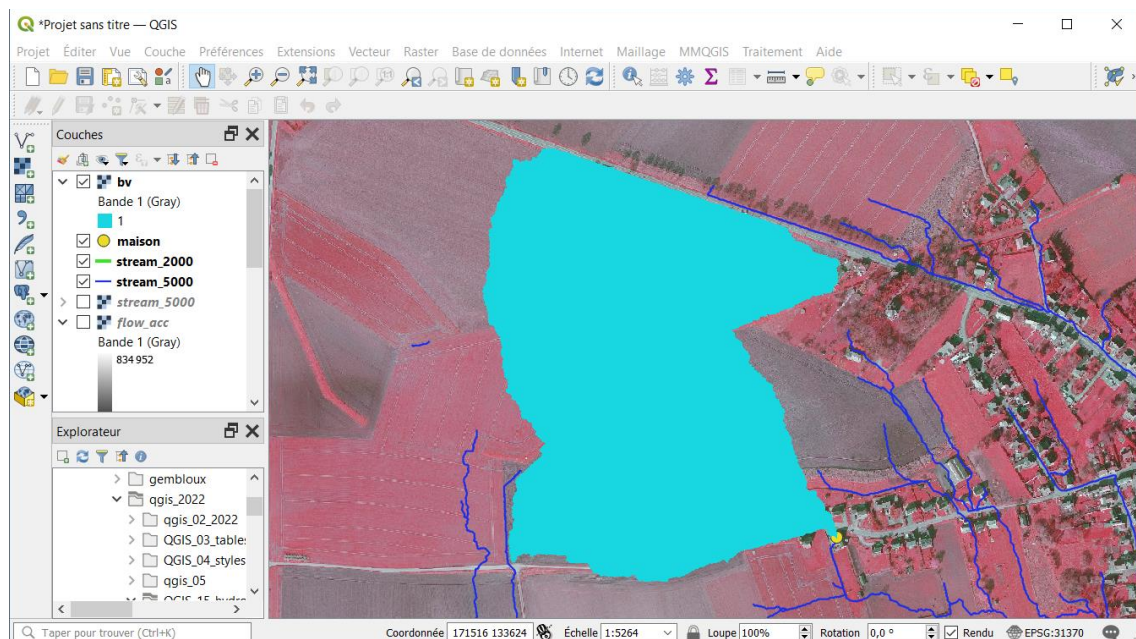


3.3 Délimitation d'un micro bassin versant

- 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**.

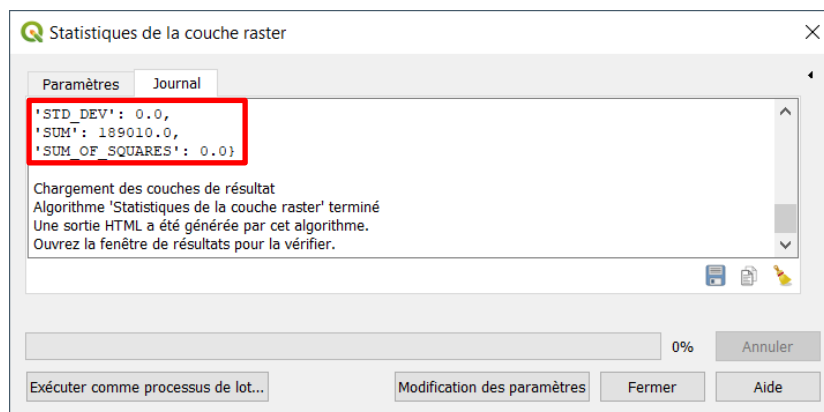
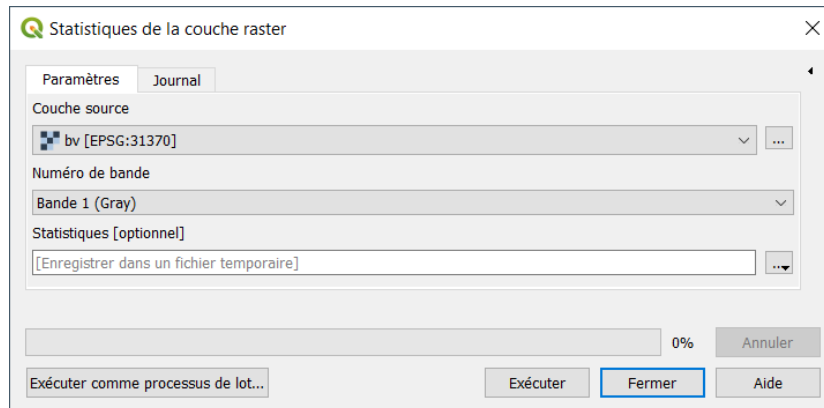


- Délimiter le bassin versant situé en amont de ce point avec la fonction « watershed ».



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

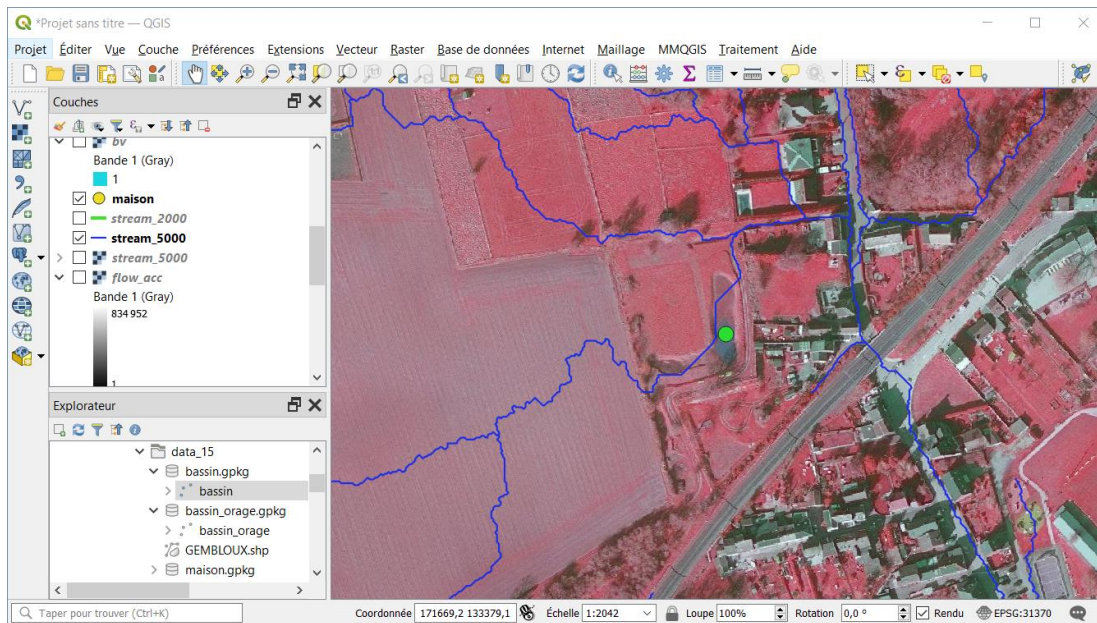
- La première possibilité consiste à générer des statistiques relatives à la couche raster **bv.tif** à l'aide de la fonction « **Statistiques de la couche raster** ». L'information peut être sauvegardée dans un fichier ou consultée dans l'onglet « journal » de la boîte de dialogue.



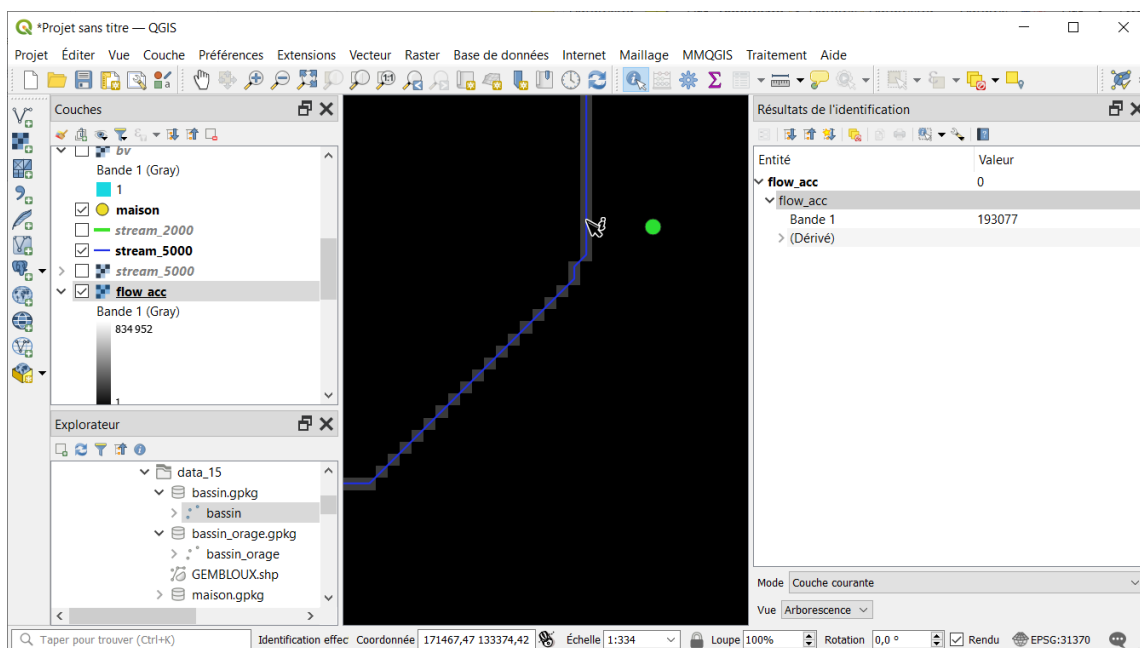
- Une autre approche consiste à polygoniser la couche raster, avec la fonction « **Polygoniser** » et à calculer la surface du polygone généré.

3.4 Estimation de la capacité d'un bassin de rétention

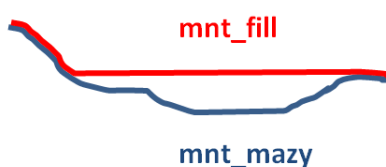
- Afficher la couche **bassin.gpkg** qui contient la localisation d'un bassin de rétention situé sur un axe d'écoulement drainant les parcelles agricoles voisines.



- 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.

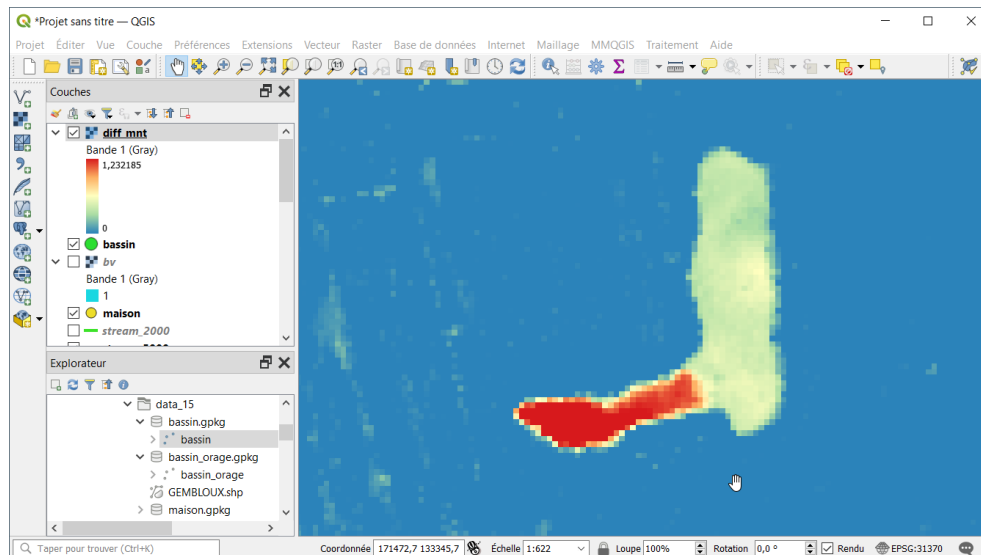


- Pour évaluer le volume de ce bassin, on peut mettre à profit les couches **mnt_mazy** et **mnt_fill**. La première correspond au relief réel, alors que la seconde correspond à un relief où les dépressions ont été rebouchées, comme illustré dans la figure qui suit.

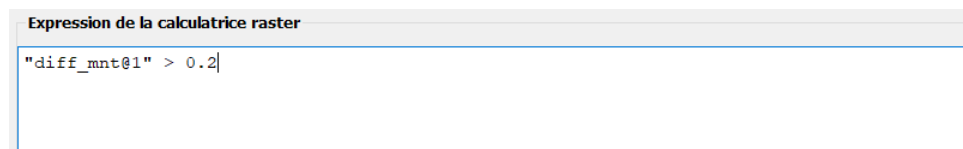




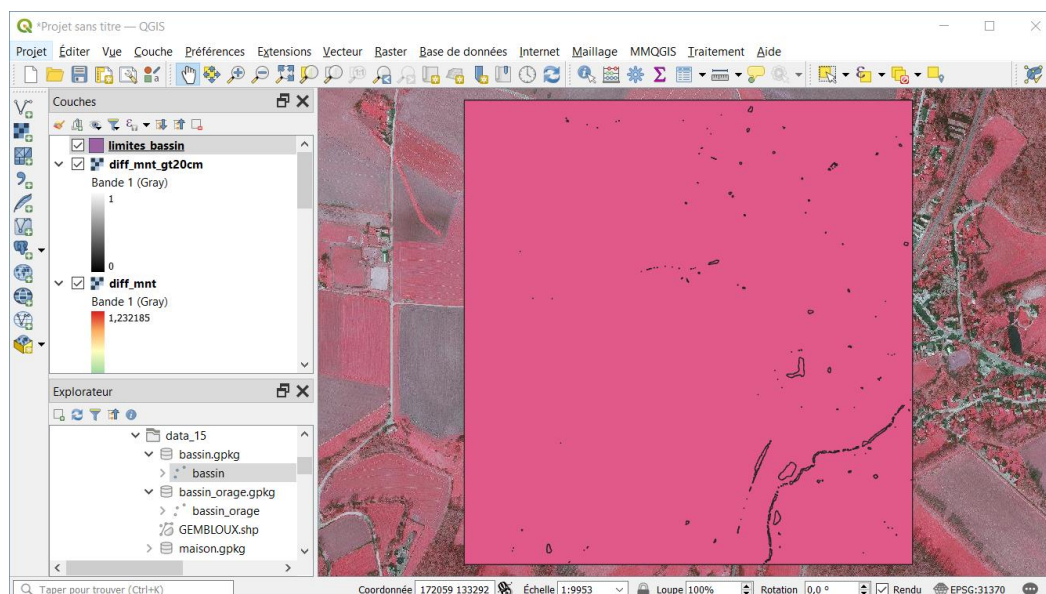
- Utiliser la calculatrice raster pour générer une couche correspondant à la différence entre les deux couches (**mnt_fill** – **mnt_mazy**). Baptiser cette couche **diff_mnt.tif**.






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

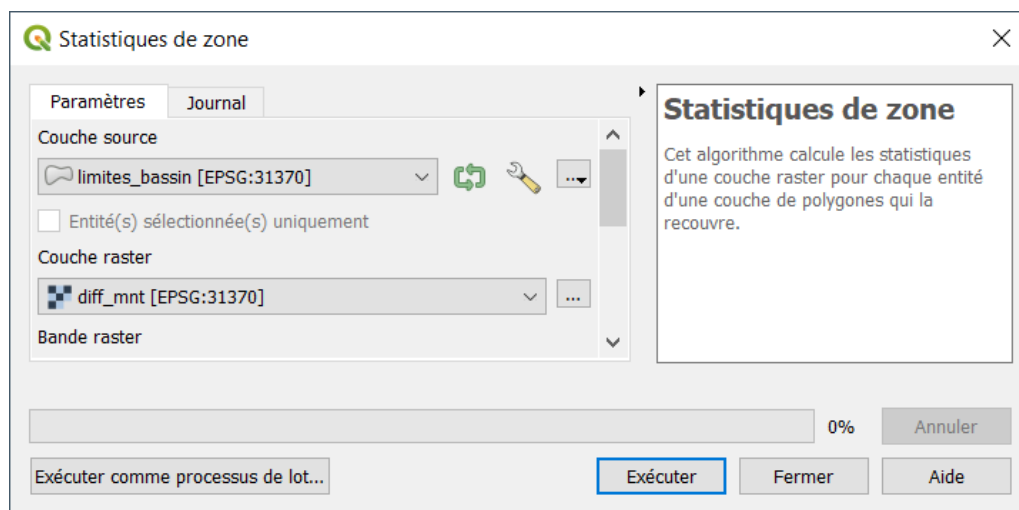


- Procéder ensuite à la polyгонisation de la couche issue du seuillage. Nommer cette nouvelle couche **limites_bassin.gpkg**. Le résultat devrait se présenter comme dans la figure suivante.





- 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.

