

**Méthode de Délimitation des Têtes de Bassin Versant,  
utilisation de Arc Hydro Tools et QGIS**

Date	2021
Lieu	EPTB Vilaine Etablissement Public Territorial de Bassin Bd de Bretagne - BP 11 - 56130 La Roche-Bernard
Intervenant	Benjamin Magand, Julien Cirou (stagiaire 2017), Christophe Danquerque, Nathalie Pecheux

<b>1. CONTEXTE.....</b>	<b>2</b>
<b>2. OBJECTIFS.....</b>	<b>2</b>
<b>3. METHODOLOGIE.....</b>	<b>2</b>
<b>4. DONNEES.....</b>	<b>2</b>
<b>5. PRETRAITEMENT DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE : .....</b>	<b>3</b>
5.1. VERIFICATION DU RESEAU .....	3
5.2. IDENTIFICATION DES BOUCLES .....	4
5.3. ORDINATION DE STRAHLER .....	5
5.4. RECUPERATION DES EXUTOIRES DE TETES DE BASSIN VERSANT .....	5
<b>6. PRETRAITEMENT DU MNT.....</b>	<b>7</b>
6.1. PRISE EN COMPTE DES SURFACES D'EAU.....	9
6.2. IMPRESSION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE SUR LE MNT.....	10
6.3. REMPLISSAGE DES CUVETTES .....	11
<b>7. DETERMINATION DES BASSINS VERSANTS .....</b>	<b>12</b>
7.1. DIRECTION DES ECOULEMENTS .....	12
7.2. DETERMINATION DE L'ACCUMULATION D'ECOULEMENT .....	13
7.3. DETERMINATION DU RESEAU D'ECOULEMENT .....	14
7.4. SEGMENTATION DU RESEAU D'ECOULEMENT .....	14
7.5. DETERMINATION DU BASSIN VERSANT DE CHAQUE ECOULEMENT .....	15
7.6. JOINTURE DES BV .....	16
7.7. MODELE BUILDER (EN PROJET).....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
<b>8. DETERMINATION DE BASSINS VERSANTS A PARTIR D'EXUTOIRES.....</b>	<b>18</b>
8.1. IMPORT DE LA COUCHE D'EXUTOIRE DANS ARC HYDRO TOOLS .....	18
8.2. CREATION DES BASSINS VERSANT .....	19

## 1. Contexte

Dans le cadre du SAGE Vilaine, plusieurs dispositions sont relatives aux têtes de bassin versant :

- Cartographier les têtes de bassin versant, à partir des inventaires de cours d'eau, en appliquant la définition du SDAGE Loire-Bretagne (disposition 17)
- Engager une réflexion sur la priorisation des actions à y mener (disposition 18)
- Expérimenter des mesures de préservation et restauration sur ces territoires (disposition 100)

Les Têtes de Bassin Versant sont décrites par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne comme les bassins versants incluant les **cours d'eau d'ordre de Strahler inférieur ou égal à 2** et dont la pente est supérieure à 1%. Ce critère de pente peut être adapté localement pour les cours d'eau à faible puissance spécifique présentant un risque de non atteinte des objectifs environnementaux (disposition 11A-1).

## 2. Objectifs

L'objectif est de réaliser une méthode permettant de délimiter des têtes de bassins versant sur l'ensemble du bassin versant de la Vilaine.

## 3. Méthodologie

La méthode de délimitation des têtes de bassin versant implique principalement l'utilisation d'un réseau hydrographique et d'un MNT.

On utilise ici le réseau hydrographique actualisé par l'EPTB Vilaine avec la couche BDD\_ICE Vilaine qui comprend, la couche « TRONCON\_COURS\_EAU » de la BD Topo IGN® rectifiée et complétée d'inventaires terrain.

Concernant le MNT, on utilise le RGE ALTI 5m fourni par l'IGN.

La méthodologie a été élaborée en utilisant une version 10.x d'ArcGIS Standard, ses extensions Spatial Analyst et 3D Analyst ainsi que les utilitaires Arc Hydro Tools. Par ailleurs, le logiciel QGIS a permis de déterminer l'ordination du réseau hydrographique via l'extension Strahler.

## 4. Données

Pour délimiter les têtes de bassins versant, 3 types de données sont nécessaires :

- Un MNT
- Une couche vectorielle des cours d'eau
- Une couche vectorielle des surfaces en eau

Exemple de données :

Couches en entrée	Type de données	Coordonnées
MNT	MNT du RGE ALTI, pas de 5m	RGF Lambert 93
SURFACE_EAU	Couche SURFACE_EAU de la BD TOPO	RGF Lambert 93
ICE	Réseau hydrographique issu des inventaires cours d'eau et BD TOPO	RGF Lambert 93

La suite d'outils Arc Hydro Tools nécessite que ces données vectorielles soient intégrées dans une Géodatabase. Arc Hydro Tools va également créer une Géodatabase contenant les entités vectorielles produites par les différents outils et un dossier « Couche » contenant les rasters des différents géotraitements.

## 5. Prétraitemet du réseau hydrographique :

### 5.1. Vérification du réseau

Les relations topologiques entre les entités du réseau hydrographique doivent suivent des règles d'encodage pour ordonner les relations entre les différents nœuds et arcs.

La digitalisation des inventaires des cours d'eau étant réalisée avec des règles de contraintes topologiques, les erreurs sont peu nombreuses.

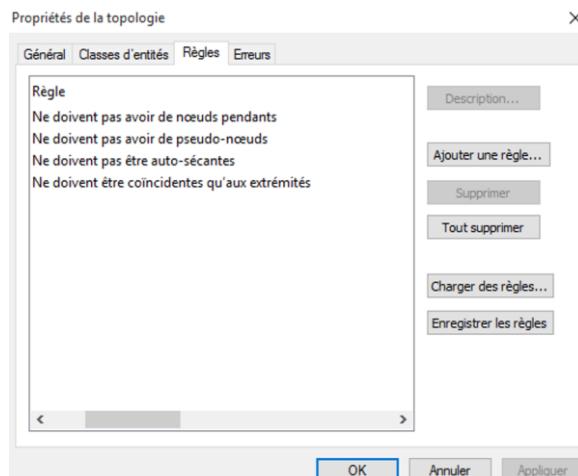
Pour contrôler si le réseau est correct, il faut vérifier s'il y a des déconnexions de réseau. L'outil Strahler (extension) sous QGIS permet de vérifier cela.



Outil Strahler :

- Utiliser l'outil Strahler depuis l'exutoire
- Les parties de réseau déconnectées n'auront pas l'attribut Strahler
- Corriger les éventuelles déconnexions manuellement

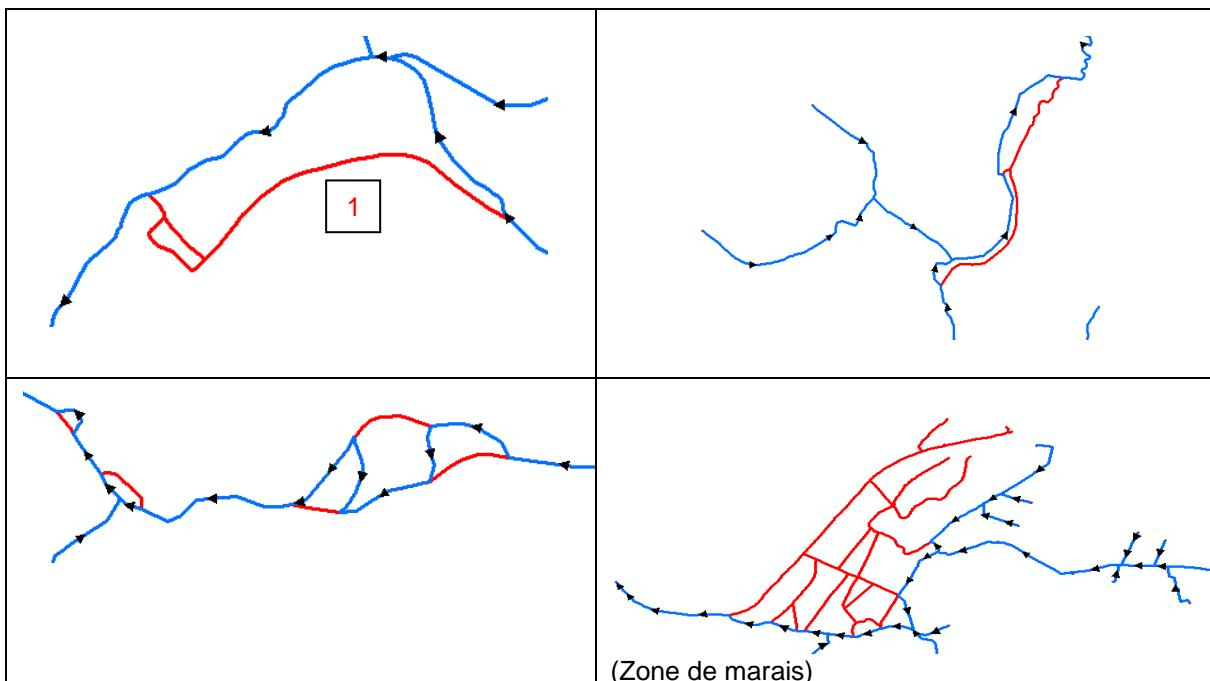
Sous ArcGIS il faut créer une topologie contenant des règles décrites ci-dessous et corriger les éventuelles erreurs de manière automatique :



## **5.2. Identification des boucles**

Le réseau hydrographique peut contenir des boucles à divers endroits. Il est indispensable d'identifier les boucles afin de pouvoir les ignorer et ainsi obtenir une ordination de Strahler adéquate dans la prochaine étape.

Il faut ajouter un champ « boucle » à la couche du réseau hydrographique. Puis il faut attribuer la valeur 1 aux tronçons d'une des deux parties de la boucle. L'orthophoto peut aider à choisir les tronçons à écarter.



Pour repérer les boucles, l'outil ETGeoWizard « **Build Polygon** » va créer des polygones à chaque boucle.

### **5.3. Ordination de Strahler**

Il est nécessaire de bien nettoyer le réseau hydrographique lors des étapes précédentes car l'outil :

- N'accepte pas les entités multi-parties
- Ne gère pas les boucles (défluences)
- Nécessite que les tronçons soient bien séparés au niveau de chaque nœud

Méthode :

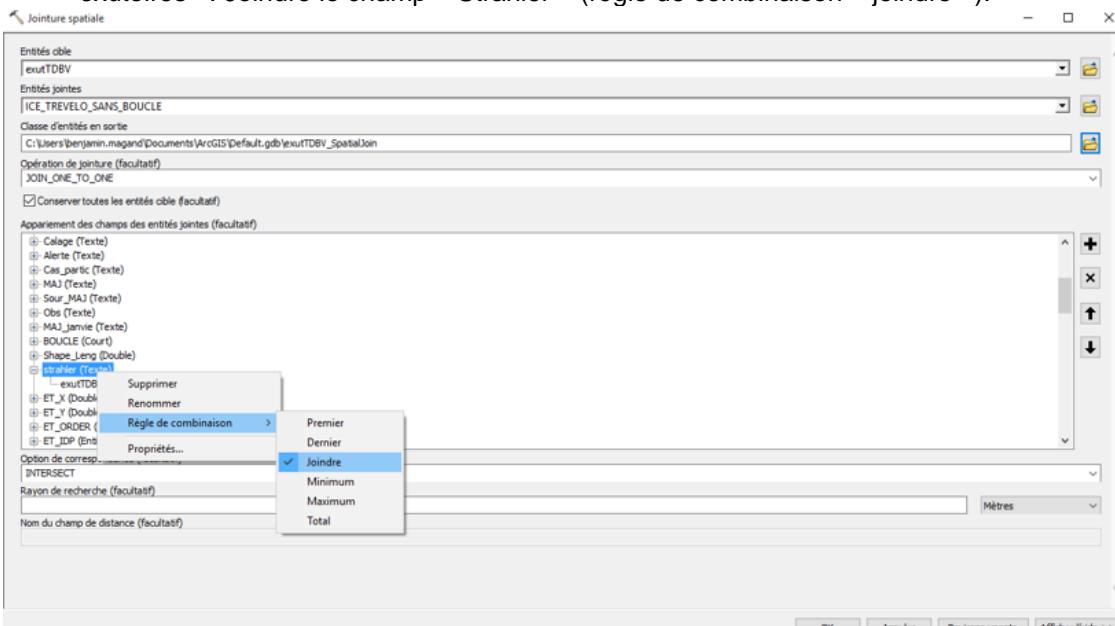
- Ajouter la couche « ICE\_SANS\_BOUCLE.shp » au format Shape dans Qgis
- Utiliser l'extension Strahler : à partir d'un tronçon exutoire déterminé manuellement, l'outil inscrit dans un nouveau champ l'ordre de Strahler de chaque cours d'eau.
- Sous ArcGIS, importer la couche dans la Géodatabase

### **5.4. Récupération des exutoires de Têtes de Bassin Versant**

Les exutoires serviront en fin de traitement à délimiter les bassins versant.

Sous ArcGIS :

- Utiliser l'outil de conversion « Polyline to Point » de ET GeoWizard sur le réseau hydrographique sans boucle. Spécifier un fichier de sortie que l'on enregistre dans un dossier temporaire. Spécifier la conversion « Nodes » et cocher « Remove duplicate points ». On obtient une couche de points aux intersections.
- Faire une jointure spatiale de la couche ICE\_SANS\_BOUCLE sur la couche de points « exutoires ». Joindre le champ « Strahler » (règle de combinaison « joindre »).



On obtient pour chaque nœud un code correspondant aux rangs de Strahler des cours d'eau qu'il connecte (codes concaténés).

Trier le champ Strahler par ordre croissant.

Utiliser la requête ci-dessous afin de sélectionner l'ensemble des exutoires ne correspondant pas à des exutoires de têtes de bassin et les supprimer.

Ref :  
Méthode\_de\_délimitation\_des\_têtes\_de\_bassin\_versant  
Date : 22/10/21  
Page : 6/21

**EPTB Vilaine**

**Méthode de Délimitation des Têtes de Bassin Versant**

Règle de décision de la requête :

Le code doit comprendre un 1 ou un 2.

Il doit être composé d'au moins 3 lettres.

Le code ne peut pas comprendre à la fois un 1 et un 2.

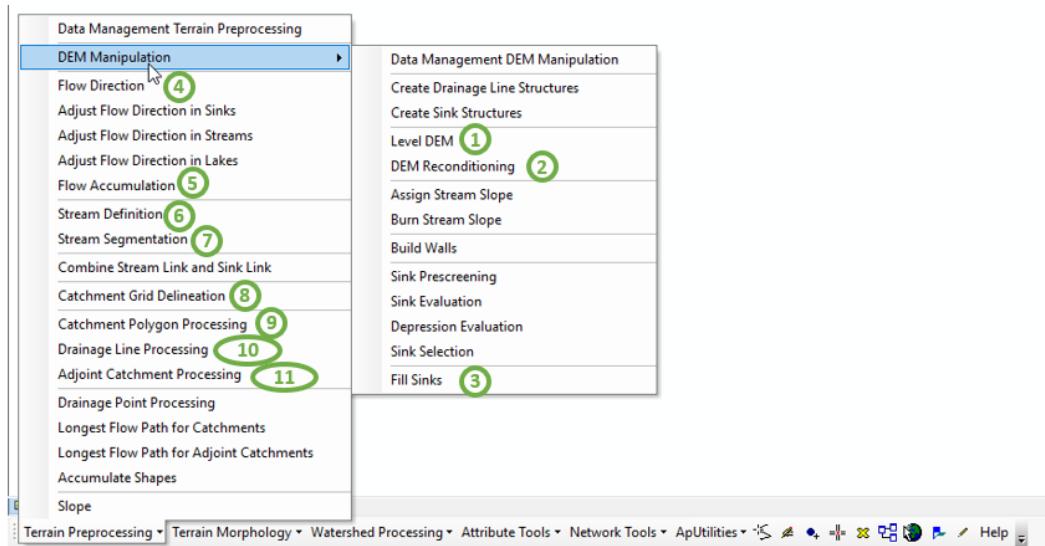
Requête :

**strahler NOT LIKE '%2%' AND strahler NOT LIKE '%1%' OR strahler <= '122' OR strahler LIKE '%1%2%' OR strahler LIKE '%2%1%' OR strahler = '22'**

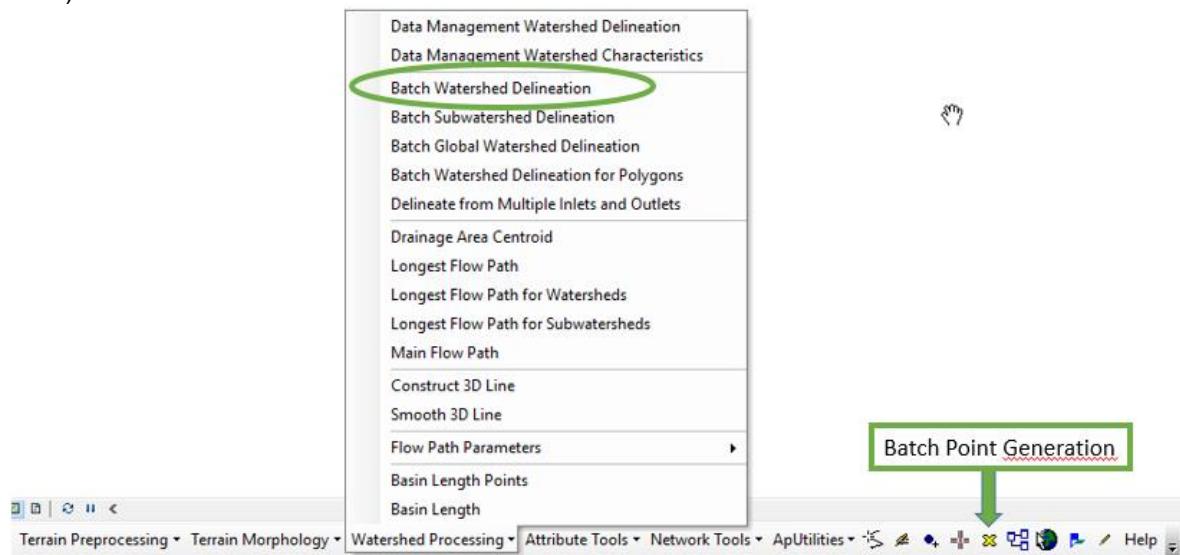
Vérifier les points à 4 intersections à la main (4 chiffres dans le code).

## 6. Prétraitement du MNT

### Utilisation des outils Arc Hydro Tools :



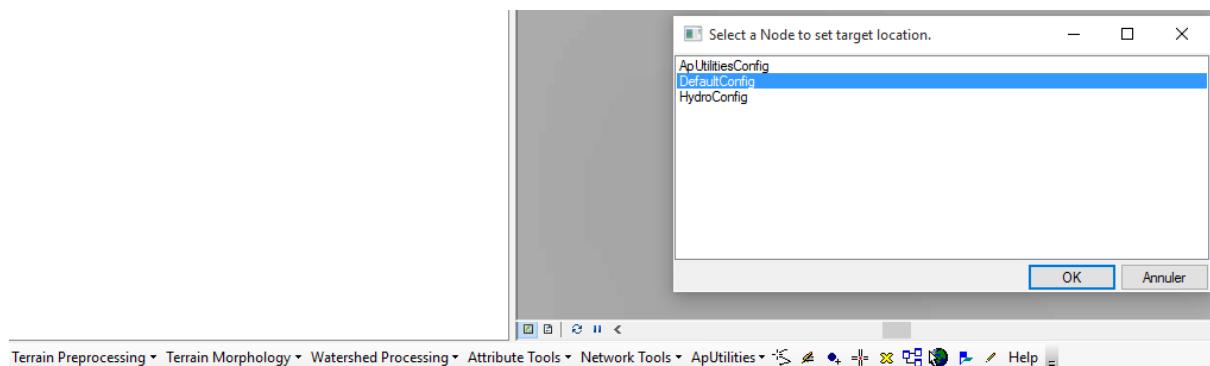
- 1) Mise à niveau des plans d'eau
- 2) Surcreusement du MNT par le réseau hydrographique
- 3) Remplissage des cuvettes
- 4) Création du raster flux de direction
- 5) Création du raster flux d'accumulation
- 6) Création du réseau d'écoulement (réseau de points bas)
- 7) Ségmentation du réseau d'écoulement
- 8) Création des BV unitaires (rasters)
- 9) Création des BV unitaires (vecteurs)
- 10) Vectorisation du réseau d'écoulement
- 11) Jointure des BV



**Paramétrage de départ :**

Afin de paramétriser l'environnement de travail Ouvrir Arcmap et enregistrer son projet dans le dossier contenant la Géodatabase.

On peut vérifier et paramétriser son environnement de travail avec ApUtilities



**Découpe du MNT :**

Méthode :

- Découper le MNT RGE ALTI 5m de l'IGN suivant l'emprise souhaitée
- Enregistrer le MNT au fort GRID dans le dossier de travail
- Remettre les Unités Z dans le MNT :

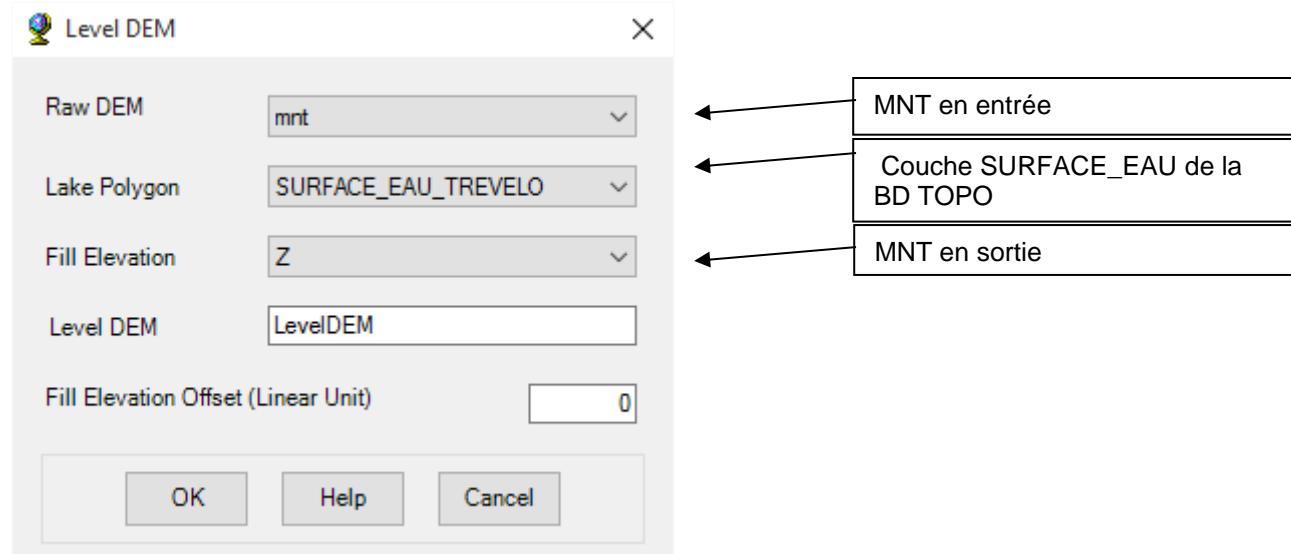
L'unité Z du MNT découpé est désactivée par défaut lors du découpage et doit être retranscrite manuellement pour utiliser pleinement les fonctions d'ArcHydro

- Ouvrir le dossier contenant le MNT
- Cliquer droit sur le fichier prj.adf et l'ouvrir avec NotePad par exemple
- En face de « Zunit », remplacer « NO » par « 1 » (sans les guillemets) et sauvegarder le fichier
- Note: « 1 represents the number of z units present in on spatial reference unit. If the DEM's values were in meters, as they are in this example, you would put 1. If the DEM's values were in centimeters, you would put 100 » (Murison 2011).
- Importer le MNT dans la Géodatabase au format FGDBR

## 6.1. Prise en compte des surfaces d'eau

Le but de cette étape est de permettre au MNT d'avoir des surfaces lisses pour représenter les surfaces occupées par les lacs et les étangs. Pour cela, on croise la couche vectorielle des surfaces en eau avec le MNT en utilisant l'attribut altitude moyenne afin de permettre au MNT d'avoir des surfaces lisses à ces endroits.

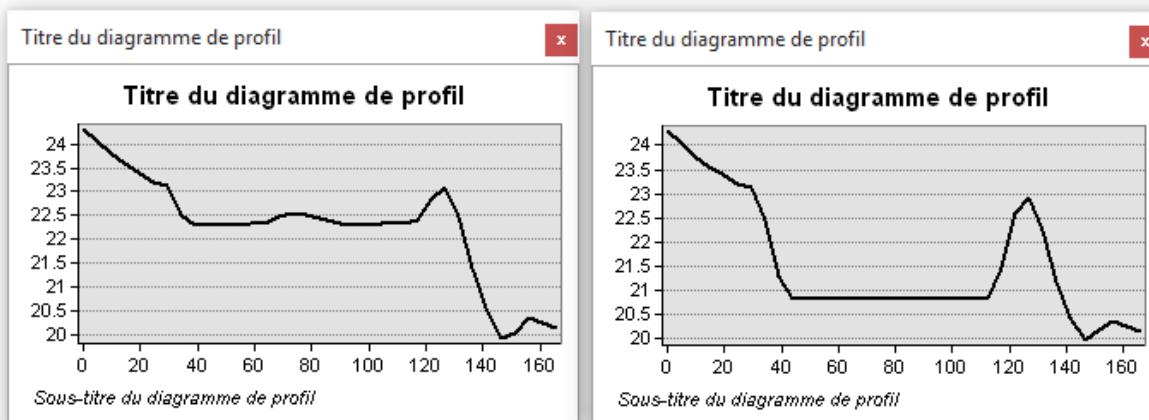
Terrain Preprocessing => DEM manipulation => Level DEM



La couche SURFACE\_EAU de la BD-Topo contient un champ Z\_MOYEN.

Si il n'apparaît pas dans la liste déroulante Fil Elevation, ajouter un champ à la couche SURFACE\_EAU « Z » (Double). Il faut penser à remplacer les valeurs 9999 (NOData) par des valeurs <Nul>.

Si le message d'erreur suivant apparaît « **Level DEM : Spatial reference does not have z unit** » c'est que le paramétrage du prj.adf du fichier GRID n'a pas été fait en amont.

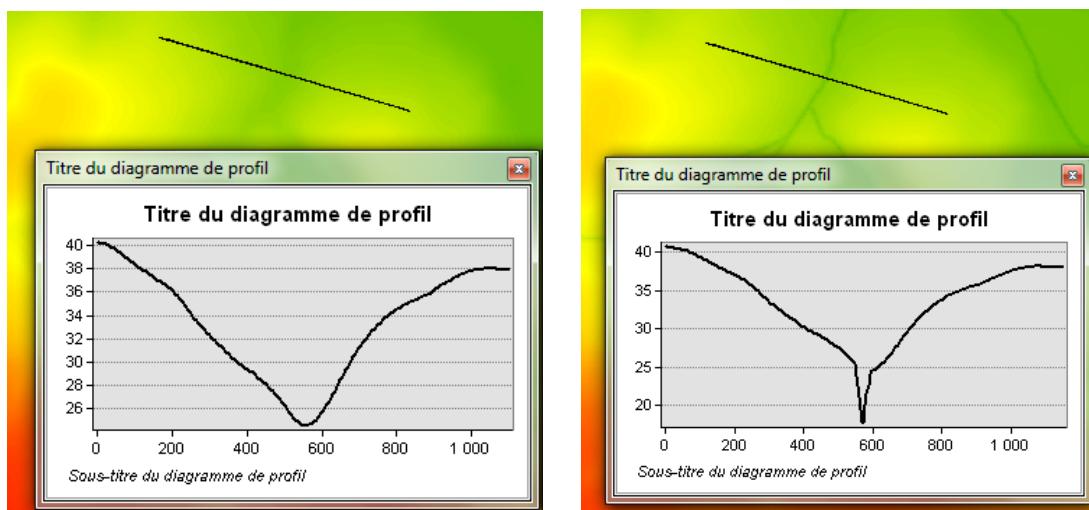
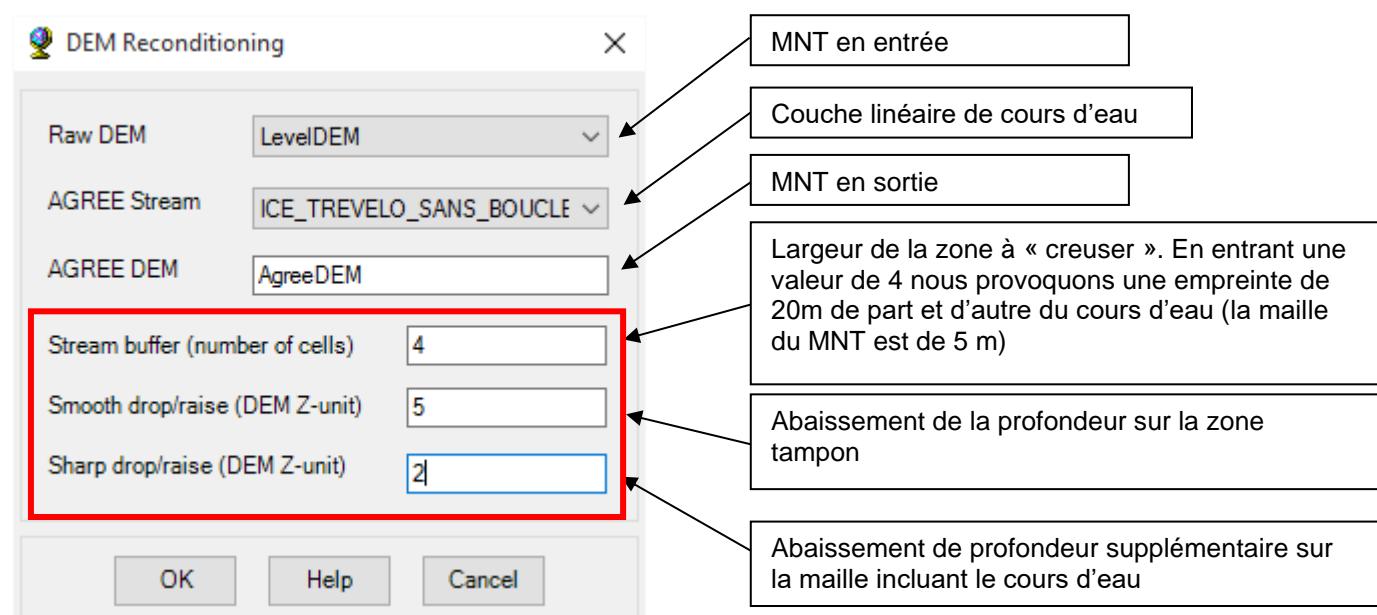


Exemple de lissage d'une surface en eau : profil gauche AVANT exécution de la commande, profil droit APRES exécution de la commande

## 6.2. Impression du réseau hydrographique sur le MNT

Cette seconde étape va permettre de creuser le MNT au niveau du réseau hydrographique afin d'obtenir un MNT dont le réseau de points bas sera davantage fidèle au réseau inventorié.

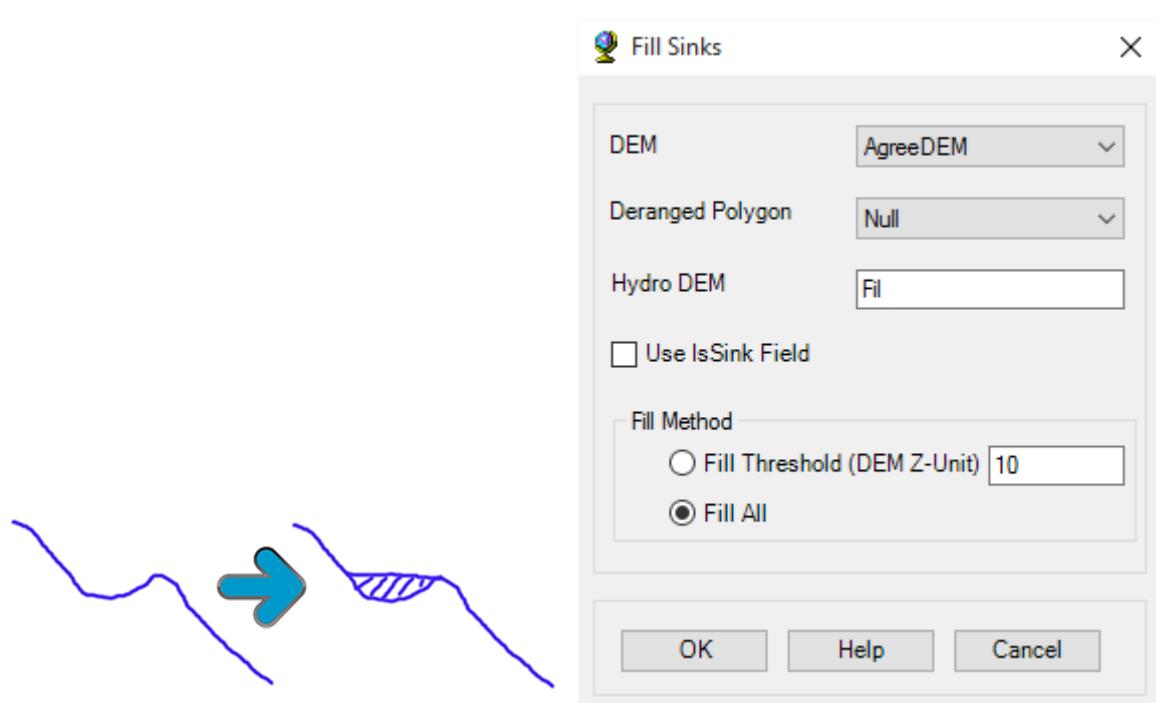
Terrain Preprocessing => DEM manipulation => DEM reconditionning



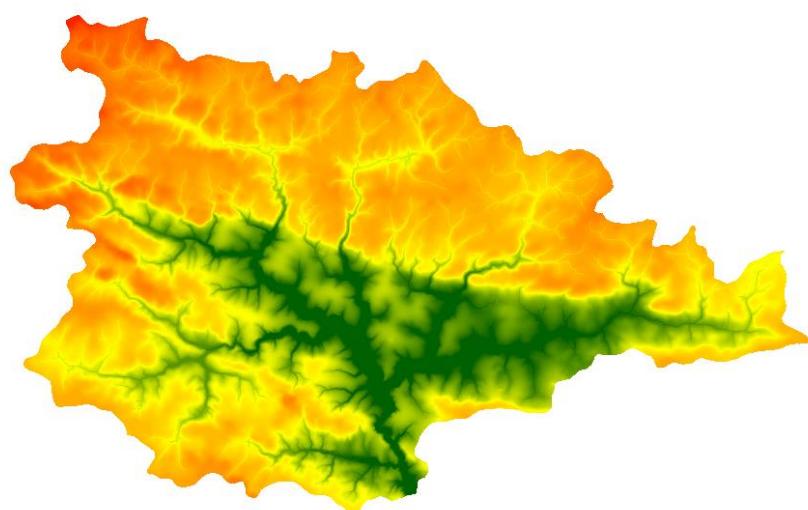
On obtient un surcreusement local : Profil gauche AVANT la commande, profil droite APRES l'exécution de la commande.

### **6.3. Remplissage des cuvettes**

La dernière étape pour un MNT « hydrologiquement correct » est le remplissage des cuvettes (zones entourées par des cellules plus hautes et qui vont bloquer les directions d'écoulement).  
Terrain Preprocessing=>DEM manipulation=>Fill Sinks (vérifier que la case Fill All soit cochée)



Le résultat est un MNT hydrologiquement correct :



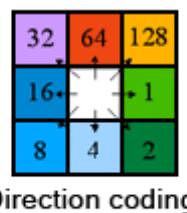
## 7. Détermination des bassins versants

La détermination se fait en étape :

- Création des directions d'écoulement
- Détermination de l'accumulation d'écoulement
- Détermination du réseau d'écoulement
- Segmentation du réseau d'écoulement
- Détermination du bassin versant de chaque tronçon du réseau d'écoulement
- Jointure des bassins versants

### 7.1. Direction des écoulements

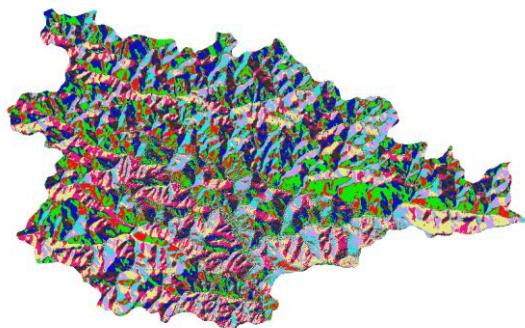
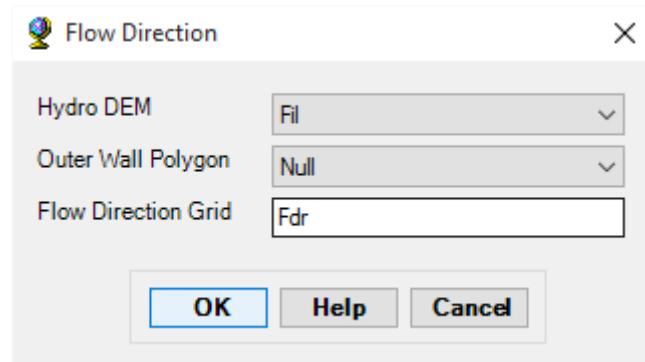
Chaque cellule du MNT est entourée par 8 autres cellules.



*The coding of the direction of flow*

Le principe d'ArcHydro est d'établir vers quelle cellule s'écoule l'eau, à partir de la cellule centrale. Pour cela, il calcule la pente entre la cellule centrale et les 8 cellules environnantes. Il considère que l'eau s'écoule de façon unidirectionnelle, vers la cellule qui a la pente la plus forte.

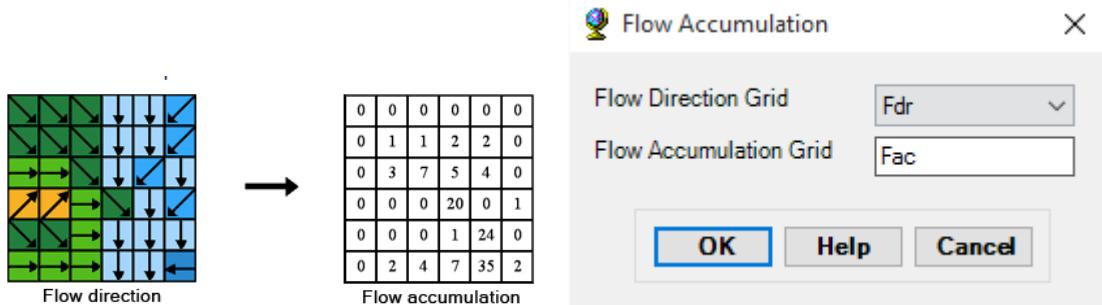
Terrain Processing => Flow direction



## 7.2. Détermination de l'accumulation d'écoulement

Cette opération permet d'obtenir une grille où la valeur de chaque cellule correspond au nombre de cellules drainées en amont.

Terrain Processing => Flow accumulation



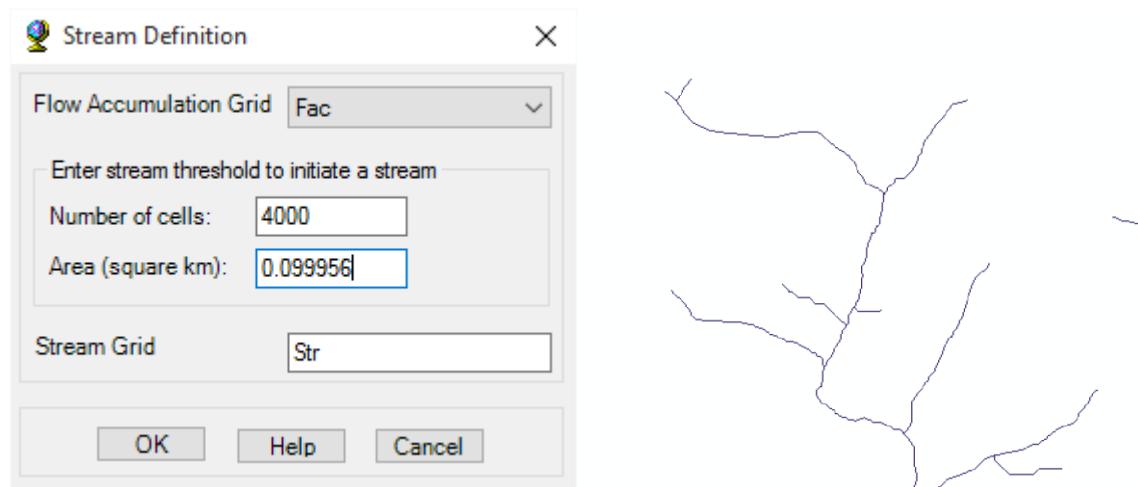
Résultat :



### 7.3. Détermination du réseau d'écoulement

L'outil Stream Definition crée un réseau hydrographique sous format raster. Le réseau d'écoulement se construit en choisissant une valeur seuil d'accumulation de flux. En entrant la valeur 4000, les cellules retenues sont celles qui drainent au moins 4000 cellules en amont. La valeur dépend du territoire, et de la finesse de la définition que l'on souhaite. 4000 cellules correspondent à une aire drainée minimale de 10 ha (avec une maille de 5m soit 25m<sup>2</sup>). Réduire la précision de cette valeur induirait des déconnexions incompatibles avec les étapes suivantes.

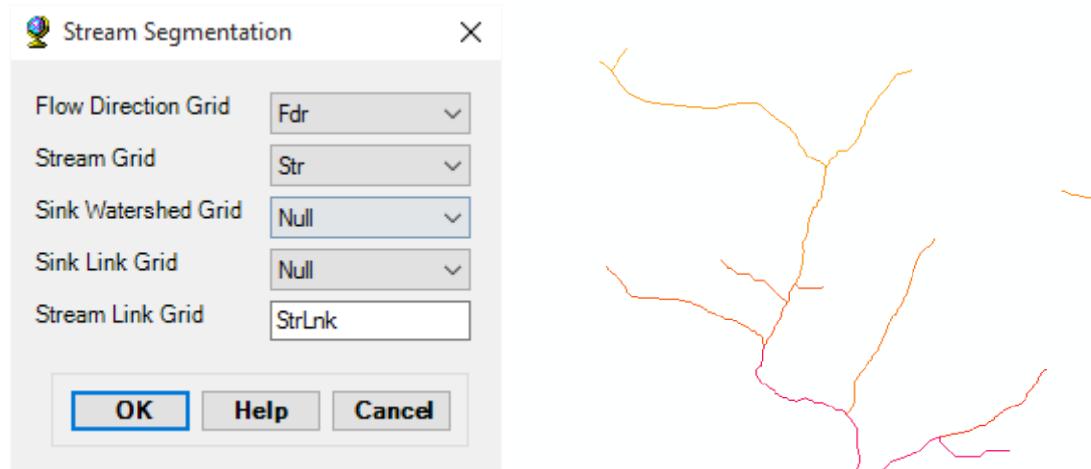
Terrain Processing => Stream definition



### 7.4. Segmentation du réseau d'écoulement

La segmentation va permettre d'identifier l'ensemble des cellules appartenant au même tronçon d'écoulement (entre deux nœuds hydrographiques : source, confluence, exutoire).

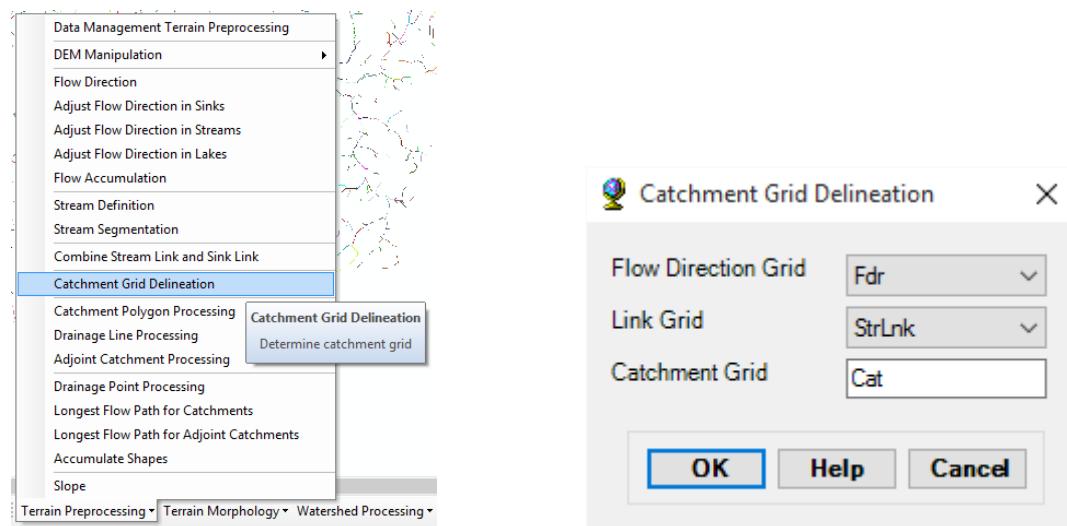
Terrain Processing => Stream segmentation



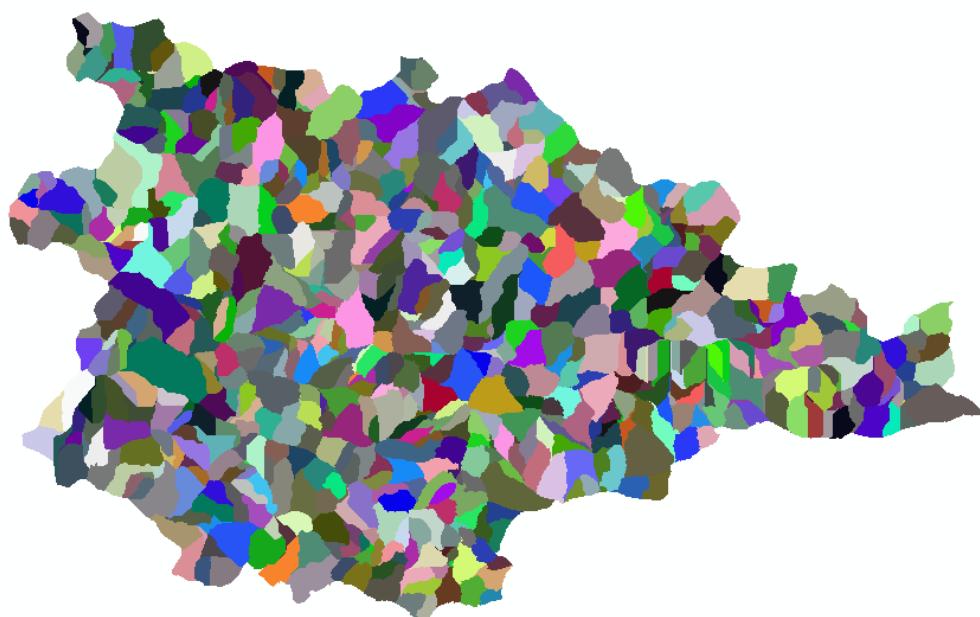
Une valeur est donnée par tronçon.

### **7.5. Détermination du bassin versant de chaque écoulement**

Terrain Preprocessing => Catchment Grid delineation



Les sorties sont les bassins versants de chaque tronçon.



Ref :  
Méthode\_de\_délimitation\_des\_têtes\_de\_bassin\_versant  
Date : 22/10/21  
Page : 16/21

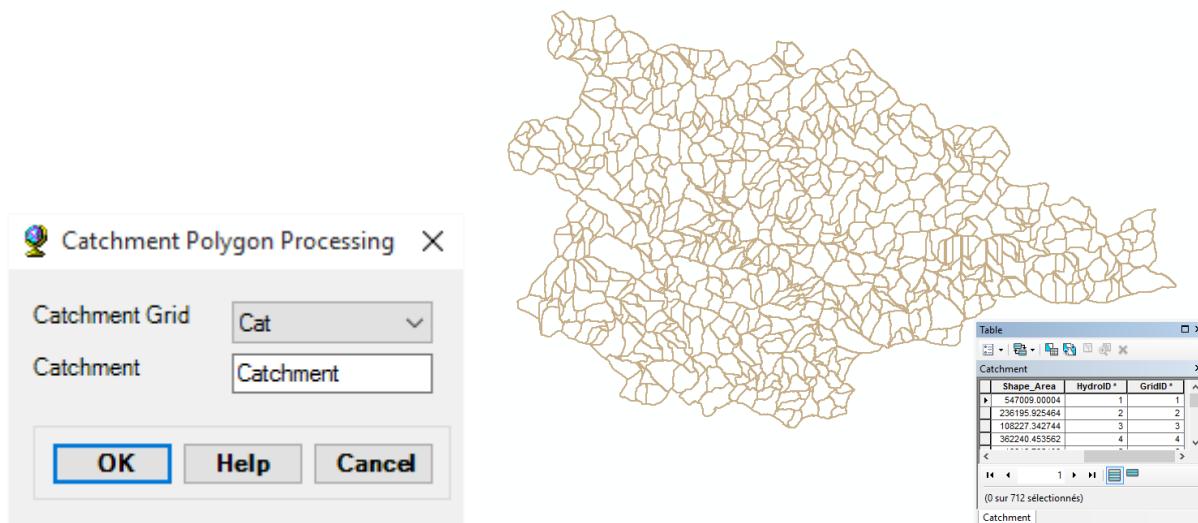
## EPTB Vilaine

### Méthode de Délimitation des Têtes de Bassin Versant

#### 7.6. Jointure des BV

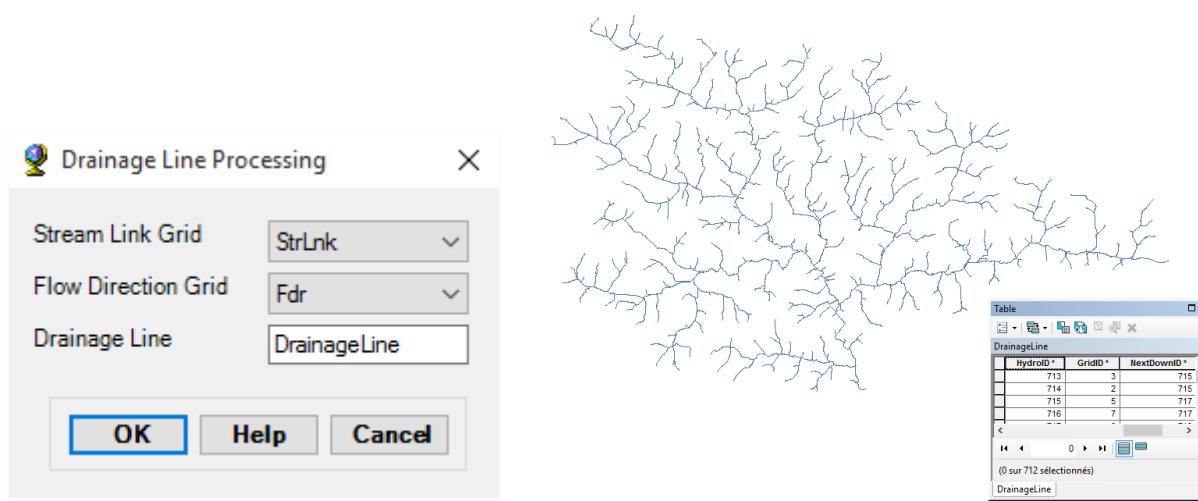
Vectoriser les BV, qui sont encore dans le mode raster :

Terrain preprocessing => Catchment Polygon processing



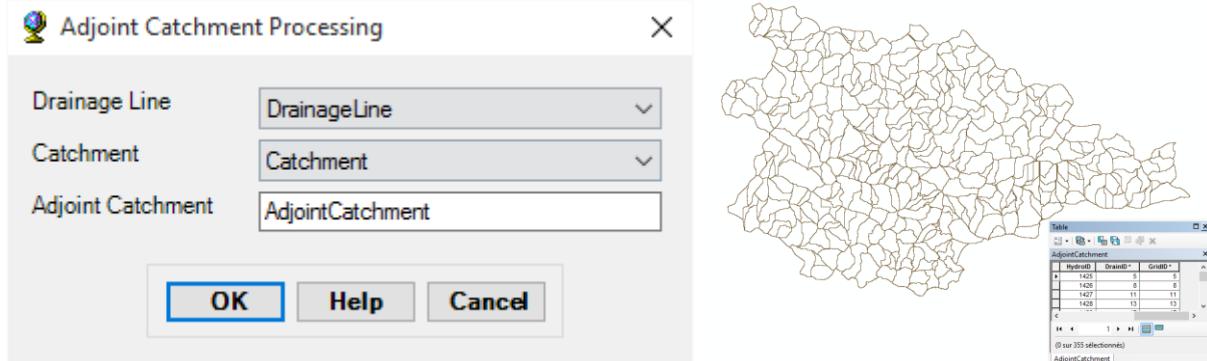
Vectoriser les écoulements :

Terrain preprocessing => Drainage Lines Processing



Dans la table attributaire du réseau d'écoulement, il existe des champs permettant de connaître le nœud amont, le nœud aval et le tronçon aval suivant.

Pour calculer les bassins versants contigus, utiliser la fonction « Adjoint Catchment Processing ». Terrain preprocessing => Adjoint Catchment Processing



Cette fonction génère le bassin versant agrégé, cumulé et contigu en amont de chaque « bassin de tronçon hydrographique ».

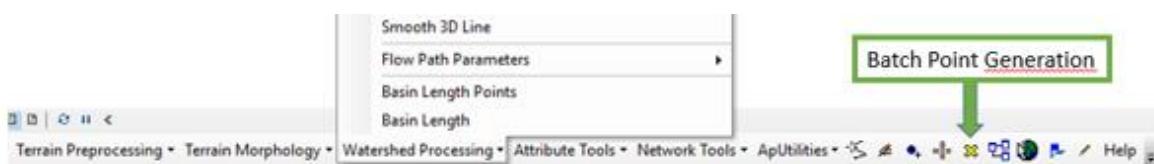
Les entrées sont les lignes d'écoulement (“DrainageLine”) et la couche de polygones bassins versants (“Catchment”). Le résultat est stocké dans une nouvelle couche vectorielle de type polygone (“AdjointCatchment”).

La commande a aussi ajouté un champ attribut dans la table de “Catchment” avec l’identifiant du bassin aval et un autre champ attributaire dans la table de DrainageLine avec l’identifiant du bassin versant du tronçon.

## 8. Détermination de bassins versants à partir d'exutoires

### 8.1. Import de la couche d'exutoire dans Arc Hydro Tools

Dans Arc Hydro Tools, l'outil Batch Point Generation permet de créer des points qui serviront par la suite d'exutoires afin de délimiter des bassins versants. Créer la couche Batchpoint permet d'avoir les domaines d'inscrits dans la Géodatabase.



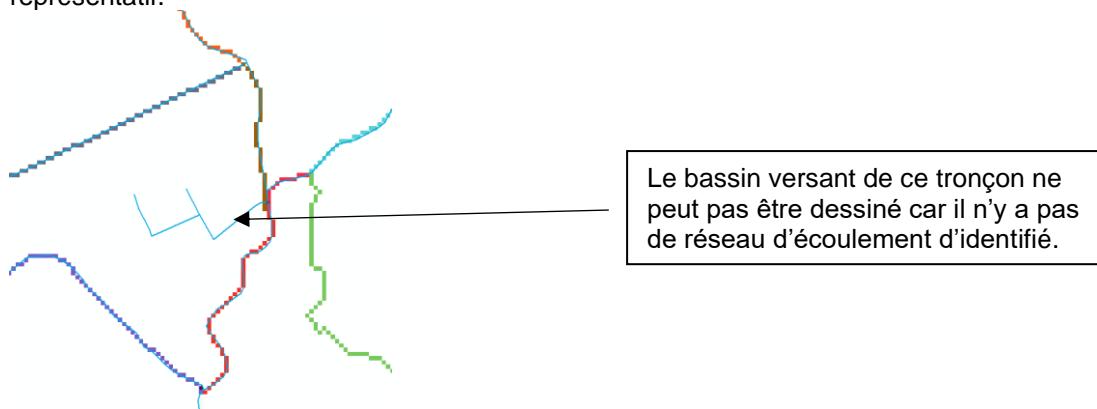
L'outil crée une couche de points avec les attributs suivants :

Champ	Type de champ	Description
Name	Texte	Nom du point
Descript	Texte	Description
BatchDone	Entier court	valeur 0 si un BV n'a pas encore été construit à partir du point, valeur 1 si il a été construit ou valeur -1 si la génération de BV à partir du point n'a pas marché
SnapOn	Entier court	valeur 1 si la position du point doit être décalée sur le centre du pixel du réseau de drainage le plus proche, 0 sinon.
SrcType	Entier Court, domaine = SourceType	Définit si le point est en entrée ou en sortie de BV. Valeur 0 = Outlet Valeur 1 = Inlet

Méthode :

- Copier les exutoires dans la couche BatchPoint

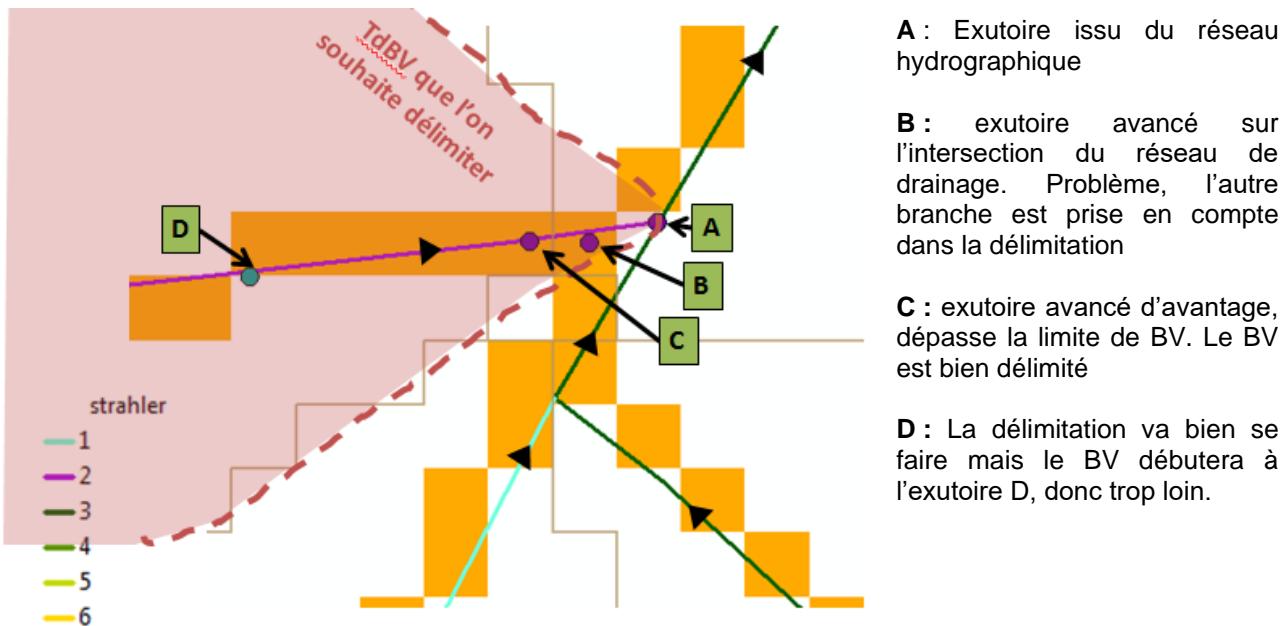
Certains exutoires ne peuvent pas être délimités car l'écoulement théorique n'est pas identifié lors des étapes précédentes. Des tronçons issus de la BD-Topo ne sont donc pas pris en compte dans la délimitation des têtes de bassins versants. Lorsque le cas se présente, écrire une remarque dans le champ Descript (« non » par exemple) et 1 dans BatchDone pour que le logiciel ne construise pas le bassin versant. Si 0 est inscrit, le logiciel dessinera un bassin versant beaucoup plus grand et donc non représentatif.



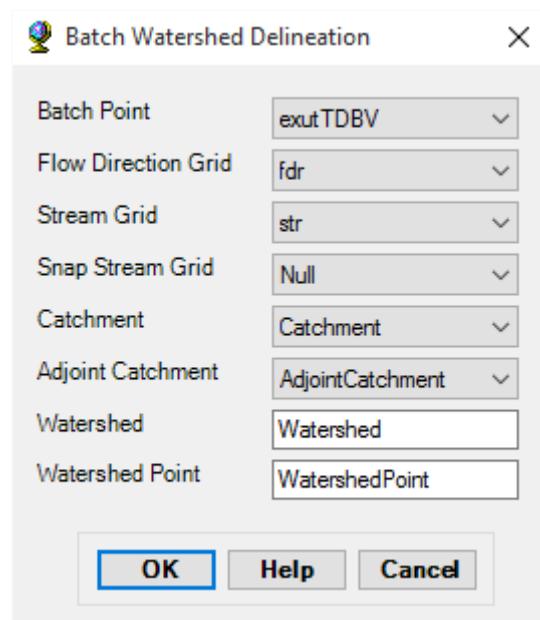
## 8.2. Création des bassins versant

L'outil Batch Watershed Delineation (Watershed Processing => Batch Watershed Delineation) permet de délimiter un ensemble de bassins versants depuis une couche de points. La délimitation se fait en fonction du réseau d'écoulement (raster créé avec Stream Definition), des bassins vectorisés et de la position des points.

La suite d'opérations et le passage au raster impliquent très souvent un décalage entre le point exutoire identifié sur le cours d'eau réel et le point de convergence des bassins (calé à partir du raster).

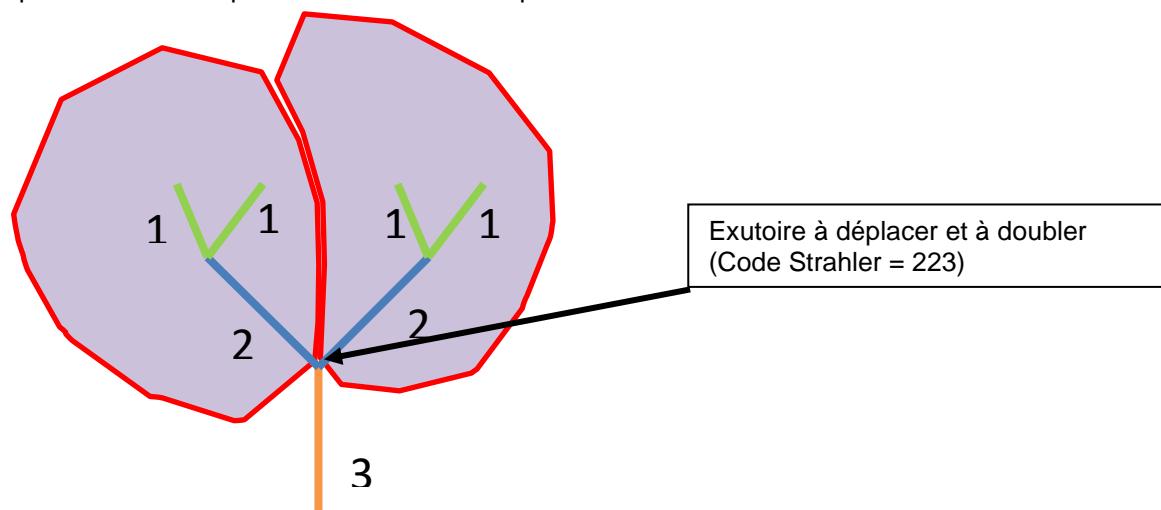


Ainsi les exutoires ne se retrouveront pas forcément sur le BV qui devrait être pris en compte pour la délimitation. Ce décalage implique de replacer chaque exutoire sur le pixel le plus proche du réseau d'écoulement compris dans le bon BV.



**Cas particuliers :**

Dans le cas d'exutoires en sortie de deux bassins (ex : '223'), au moment de déplacer le point, faire un copier-coller afin de placer chacun des deux points sur une sortie différente.



**Résultats :**

