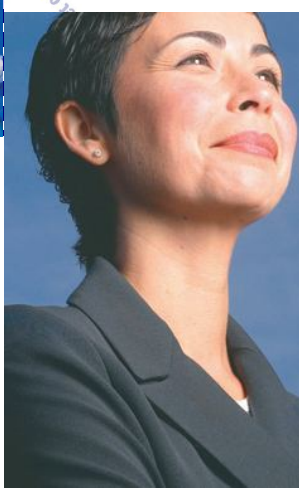


pour comprendre le présent et construire un avenir durable

Jun 2009



Atlas des zones de ruissellement de l'Oise Méthodologie de constitution des données

Atlas des Zones de Ruissellement de l'Oise
Calculs de bassins versants à l'aide l'extension
ArcHydro d'ArcGIS

Éléments méthodologiques

| | |
|--|------------------|
| <u>0. LES LOGICIELS ET DONNÉES DE BASE À AVOIR.....</u> | <u>2</u> |
| 0.1. Les logiciels..... | 2 |
| 0.2. Les données..... | 2 |
| <u>1. PROCÉDURE À SUIVRE POUR OBTENIR DES BASSINS VERSANTS.....</u> | <u>3</u> |
| 1.1. Préparation du MNT..... | 3 |
| 1.1.1. Adaptation du MNT à la position réelle des cours d'eau..... | 3 |
| 1.1.2. Remplissage des « trous »..... | 4 |
| 1.2. Calcul des directions d'écoulements..... | 4 |
| 1.3. Calcul de l'accumulation des écoulements..... | 5 |
| 1.4. L'opération « Stream Definition », « Définition du courant »..... | 6 |
| 1.5. L'opération « Stream Segmentation », « Segmentation du courant »..... | 7 |
| 1.6. Calcul des bassins versants « Catchment Grid Delineation »..... | 8 |
| 1.7. Vectorisation des bassins versants « Catchment Polygon Processing »..... | 8 |
| <u>2. CALCULS ET POSSIBILITÉS ANNEXES.....</u> | <u>10</u> |
| 2.1. Vectorisation du réseau hydrographique..... | 10 |
| 2.2. Localisation du point d'évacuation des eaux pour chaque bassin..... | 10 |
| 2.3. Traçage automatique du bassin versant d'un point choisi sur le réseau hydrographique..... | 11 |
| 2.4. Traçage du chemin d'écoulement d'une cellule..... | 12 |

0. Les logiciels et données de base à avoir

0.1. Les logiciels

Il existe de multiples applications permettant d'effectuer des calculs hydrologiques. La plupart sont des extensions s'ajoutant à des logiciels SIG standards.

Une recherche bibliographique a permis de constater que l'extension « Arc Hydro » du logiciel ArcGIS proposait les fonctionnalités les plus abouties.

Pour fonctionner, cette extension gratuite nécessite néanmoins les pré-requis suivants :

- Le logiciel propriétaire ArcGIS dans sa distribution la plus performante : ArcInfo,
- Une de ses extensions payantes : Spatial Analyst,
- Divers applicatifs à installer sous Windows au préalable¹.

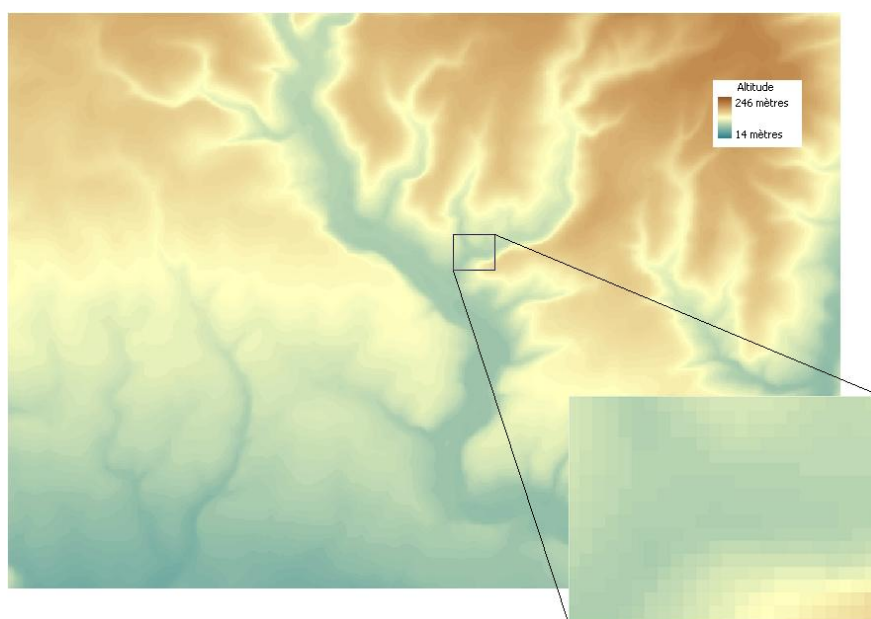
La version utilisée est la 1.2.

0.2. Les données

Tous les calculs effectués par l'extension Arc Hydro ont pour base un modèle numérique de terrain (MNT). Plus celui-ci est précis, plus les résultats seront fins et précis, mais le temps de calcul d'en trouvera rallongé.

Dans le cas de notre étude pour la DDE60, le MNT choisi est celui de la BD Topo. C'est le plus précis que possède la DDE60 (et le CETE). Il présente l'avantage d'être défini et homogène sur tout le département.

En revanche, sa précision ne permet pas de l'utiliser de manière fiable en dessus de l'échelle du 1/50000ème. Ce MNT se présente sous la forme d'une grille dont les éléments sont des carrés de 25m de côté. Une altitude est donc définie tous les 25 mètres. La précision de l'altitude est métrique. Il s'agit donc de nombres entiers.



¹Plus d'infos sur cette page : <http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.dataModels.filteredGateway&dmid=15>

1. Procédure à suivre pour obtenir des bassins versants

Toutes les manipulations sont basées sur les documents de référence suivants :

- *Watershed and Stream Network Delineation, Adapted from the Arc Hydro Tools Tutorial prepared by ESRI, David Maidment and Oscar Robayo, University of Texas, September 2002*²,
- *Arc Hydro Tools – Tutorial, ESRI, version 1.2, May 2007*³.

Les fonctions énumérées ci-dessous doivent être appliquées dans l'ordre pour pouvoir fonctionner. En effet, un des principes d'Arc Hydro est d'utiliser les résultats de plusieurs fonctions précédentes.

1.1. Préparation du MNT

Il existe de nombreuses possibilités de modification et d'adaptation du MNT en fonction de la position réelle des cours d'eau ou des lacs. Toutes sont détaillées dans le deuxième document inscrit ci-dessus.

Les principales possibilités sont les suivantes :

- Adaptation du MNT à la position réelle des cours d'eau,
- Remplissage des « trous ».

1.1.1. Adaptation du MNT à la position réelle des cours d'eau

Cette fonction permet de « creuser » le MNT au droit du passage réel des cours d'eau. Pour pouvoir l'utiliser, il est nécessaire de disposer d'une couche vecteur représentant les cours d'eau. Elle doit être à la même échelle que le MNT et continue : il ne doit pas y avoir de tronçons de cours d'eau non raccordés au réseau.

Les données existantes sont la BD Carto, la BD Topo ou la BD Carthage. Cette dernière présente l'avantage d'être sensiblement à la même échelle que le MNT et de posséder une couche dont le réseau est continu.

Pour l'instant, la donnée hydrographique utilisée est la couche « cours d'eau » de la BD Carthage. Elle a l'avantage de représenter des cours d'eau continus avec leurs noms. En revanche, elle ne possède pas d'information plus précise sur l'état du cours d'eau (état, largeur, navigabilité,...). Ces informations sont disponibles dans la couche « tronçons », dont les cours d'eau sont parfois discontinus. La jointure entre les deux tables peut être effectuée au besoin.

De part leur particularité, les canaux (ouvrages anthropiques et sans liens avec la topographie) ont été enlevés de la table des cours d'eau.

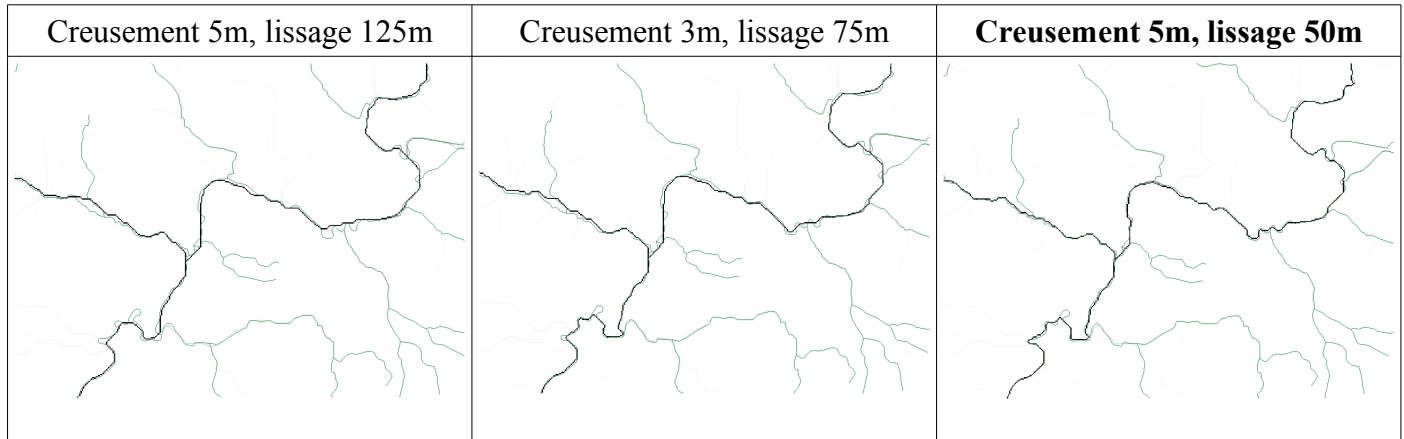
²Téléchargeable ici : <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/giswr2002/Ex5/Ex5Doc.doc>

³Téléchargeable ici : http://downloads2.esri.com/support/datamodels/Hydro/ArcHydro92_1.zip

Trois paramétrage de « creusement » ont été testés :

- Creusement de 5m, et lissage de 125m de chaque côté du cours d'eau,
- Creusement de 3m, et lissage de 75m de chaque côté du cours d'eau,
- Creusement de 5m, et lissage de 50m de chaque côté du cours d'eau.

La dernière hypothèse donne les résultats les plus proches de la réalité :



En vert le réseau hydro réel. En noir le réseau hydro calculé.

1.1.2. Remplissage des « trous »

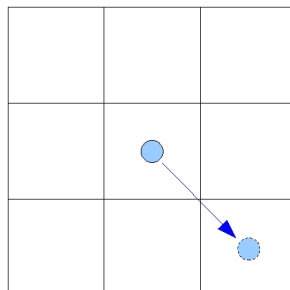
Cette fonction permet de lisser les potentielles zones d'accumulation des eaux. Le paramètre d'entrée est la surface maximale à lisser.

Cette fonction doit être appliquée pour permettre le bon déroulement des suivantes.

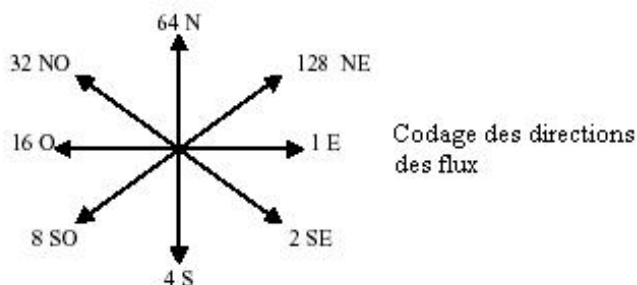
1.2. Calcul des directions d'écoulements

Cette fonction nécessite en entrée un MNT, préalablement modifié ou non (cf. §1.1).

Elle génère en sortie une grille de même pas que le MNT (25m) et donnant pour chacun de ses éléments la direction que prendrait une goutte si elle était posée dessus.



En fonction des altitudes des 8 éléments de grille juxtaposés, l'algorithme calcule la direction dans laquelle la goutte fictive part. Cette direction n'est pas exprimée en degrés mais varie entre 1 et 255. La valeur 1 correspond à l'Est.



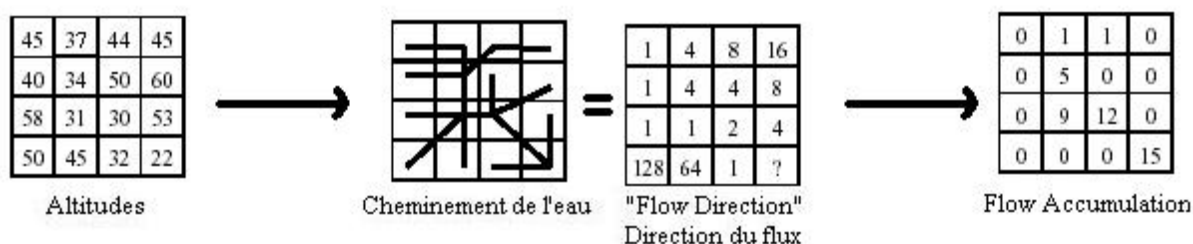
1.3. Calcul de l'accumulation des écoulements

Cette fonction nécessite en entrée la grille des directions d'écoulements.

Elle génère en sortie une grille de même pas que la précédente et donnant pour chaque élément « i » de la grille le nombre de cellules de type « j » vérifiant la propriété suivante : chaque « goutte d'eau » posée sur « j » a son cheminement qui passe par « i ».

Naturellement, les cellules dont l'altitude est élevée ou celles situées aux sources des cours d'eau possèdent une valeur faible. En revanche, les cellules situées aux embouchures ou confluences ont des valeurs élevée puisqu'elles réceptionnent l'ensemble des eaux générées par les bassins.

Le schéma ci-dessous illustre cette logique. On comprend pourquoi cette fonction utilise les résultats des directions d'écoulements :



La donnée obtenue dans la grille « accumulation des écoulements » correspond donc à un nombre de cellules. Nombre qui croît en suivant le lit d'un cours d'eau. La figure ci-dessous le montre. Plus le trait est noir, plus l'accumulation des écoulements est grande.



Comme une cellule a une surface prédéfinie et fixe ($25 \times 25 \text{m} = 625 \text{m}^2$), l'accumulation des écoulements est donc proportionnelle à la **surface du bassin versant** correspondant. Il suffit dans notre cas de multiplier le résultat brut du calcul par 625m^2 pour obtenir cette surface.

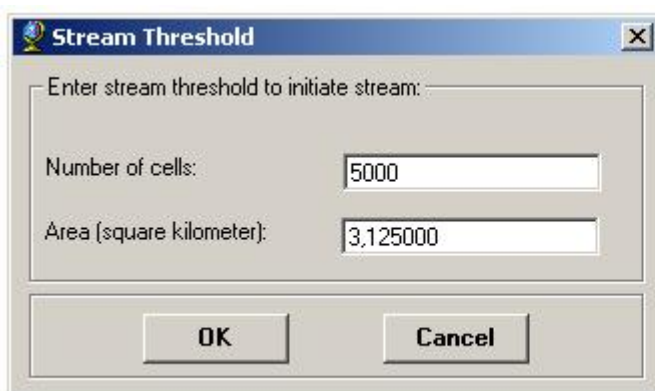
Le contour de ces bassins n'est néanmoins toujours pas tracé.

1.4. L'opération « Stream Definition », « Définition du courant »

A partir de la grille de l'accumulation des flux, la fonction « Stream Definition » permet de sélectionner les cellules dont la valeur est supérieure à un certain seuil. Cette fonction nécessite donc en entrée la grille de l'accumulation des flux et le seuil minimal.

Comme expliqué au dessus, le seuil minimal est un nombre de cellule, mais il peut être converti facilement en surface en le multipliant par 625m^2 .

La figure ci-dessous montre la fenêtre du choix du seuil. Au choix entre nombre de cellules ou surface.

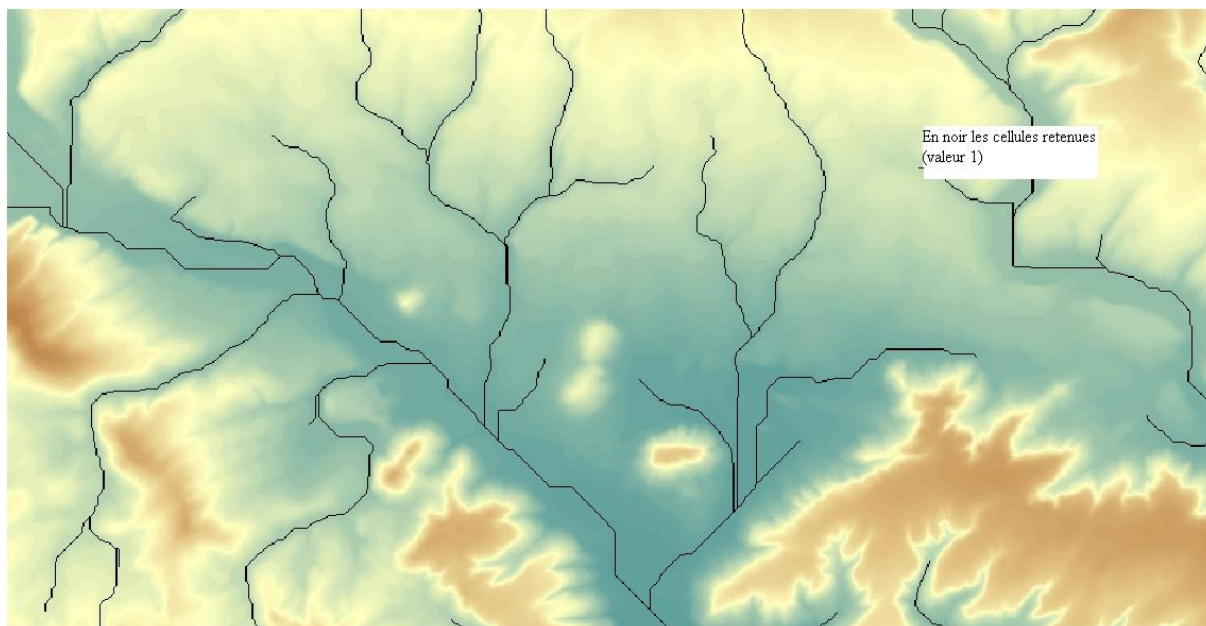


Le nombre de cellule et la surface totale sont reliés par la surface s'une cellule.

Si on change 1 des 2 entrées, l'autre est automatiquement modifiée.

Ici, $5000 \times 625 \text{ m}^2 = 3,125 \text{ km}^2$

La grille obtenue contient donc 2 valeurs : 0 pour les cellules dont l'accumulation des écoulements est inférieure au seuil, et 1 sinon. Cela correspond à une partie du réseau hydrographique.

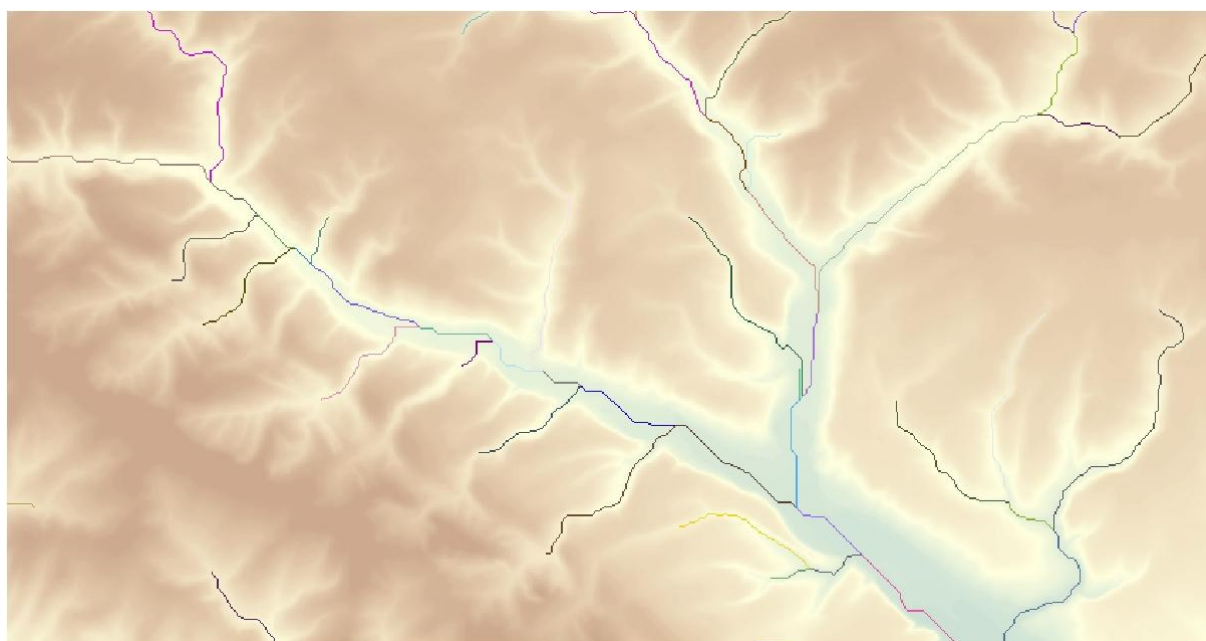


1.5. L'opération « Stream Segmentation », « Segmentation du courant »

Cette fonction nécessite en entrée la direction des flux et la définition du courant (« Stream Definition »).

Comme son nom l'indique, cette fonction va différencier les sections du réseau hydrographique généré précédemment. Toutes les cellules appartenant à un même tronçon hydrographique auront la même valeur numérique (choisie aléatoirement).

La figure ci-dessous montre un aperçu de la grille générée (une couleur par tronçon).



1.6. Calcul des bassins versants « Catchment Grid Delineation »

Cette fonction nécessite en entrée la direction des écoulements et la segmentation du courant (ci-dessus).

Elle génère en sortie une grille des bassins versants de chaque tronçon hydrographique calculé précédemment. Si un tronçon hydrographique dont la fonction cherche le bassin versant porte le valeur « i », toutes les cellules constituant ce bassin versant porteront également cette valeur « i ».

Remarque importante :

Dans tous les calculs précédents, les seules données d'entrées qui ont abouti aux bassins versants sont :

- Le MNT retravaillé,
- Le seuil d'accumulation (surface maximale) des flux choisi à l'étape 1.4.

Tous les autres calculs sont effectués en cascade de manière complètement automatisée.

Le seuil d'accumulation des flux détermine à lui seul la taille des bassins versants obtenus au final.

Le seuil choisi à l'étape 1.4 ne peut pas donner à l'avance une indication sur la surface des bassins versants. Ce n'est ni une surface maximale, ni une surface minimale, ni une moyenne.

Néanmoins, plus le seuil est élevé, plus la taille des bassins sera grande.

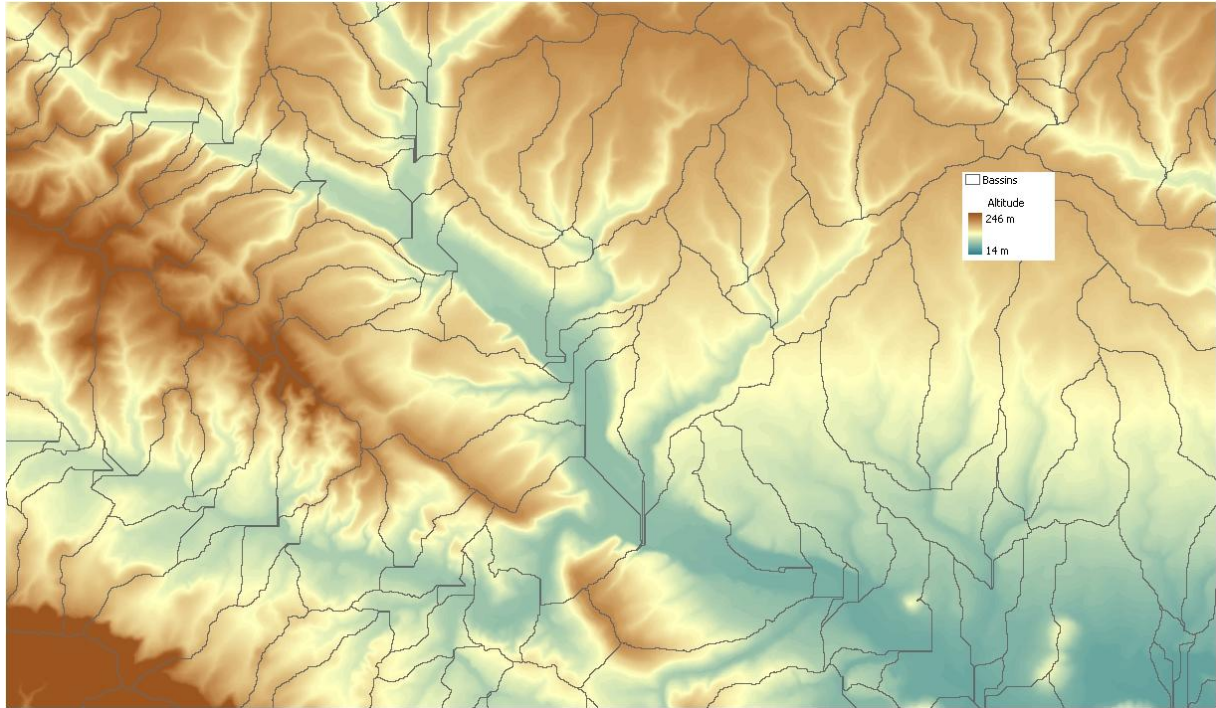
A la suite de la réalisation de plusieurs tests, nous avons constaté qu'aucun calcul ne peut être réalisé en dessous du seuil de 2000 cellules, soit 1,25 km². Ce seuil permet d'obtenir les bassins versants de tous les cours d'eau permanents du département. En revanche, pour avoir une cartographie lisible sur tout le département, un seuil plus élevé est nécessaire.

Par exemple, le seuil de 12km² est plus adapté à une telle représentation.

1.7. Vectorisation des bassins versants « Catchment Polygon Processing »

Les bassins précédemment calculés se présentent sous la forme de grille donc d'image. La fonction « Catchment Polygon Processing » permet de les vectoriser et de les transformer en polygones.

Le résultat est représenté sur la figure ci-dessous.

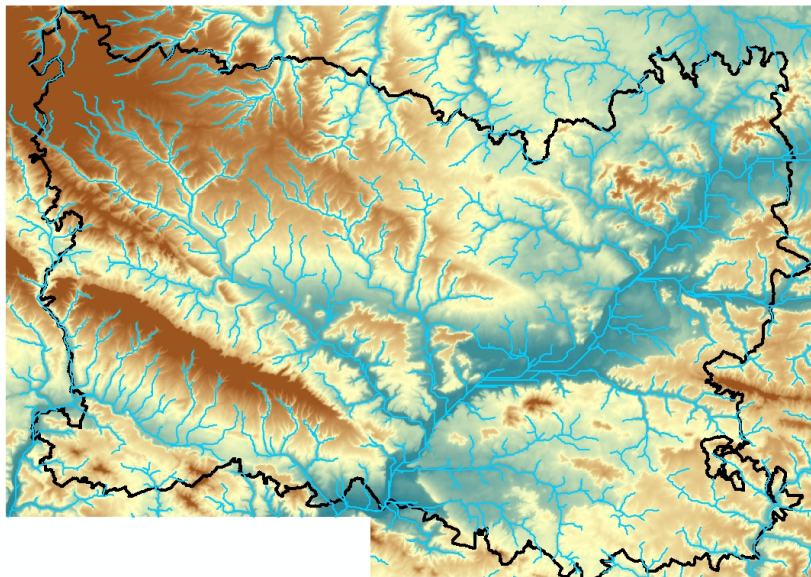


2. Calculs et possibilités annexes

Les données obtenues dans le paragraphe précédent constituent un « socle de base » à partir duquel il est possible d'effectuer d'autres calculs connexes.

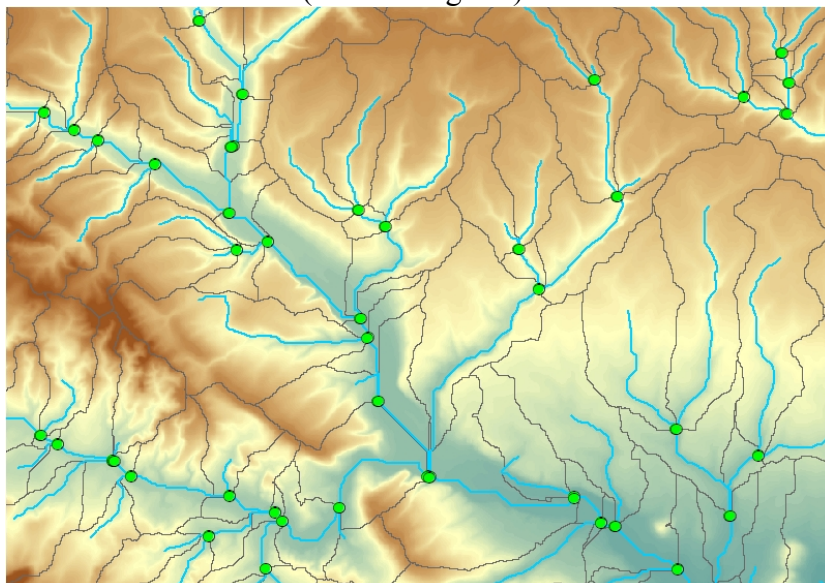
2.1. Vectorisation du réseau hydrographique

Cette fonction permet de vectoriser la grille de segmentation du courant obtenue au paragraphe 1.5. Elle nécessite d'utiliser également la grille de direction des flux.



2.2. Localisation du point d'évacuation des eaux pour chaque bassin

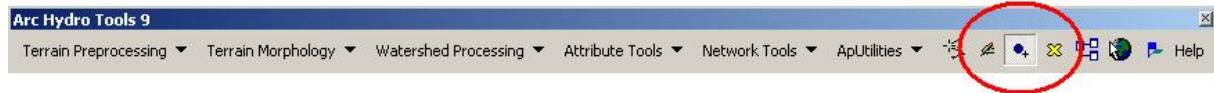
Cette fonction permet d'identifier l'unique point par lequel toutes les eaux d'un même bassin s'évacuent. Elle s'appelle « Drainage Point Processing ». Elle nécessite en entrée la grille d'accumulation des flux et les bassins (vecteur et grille).



2.3. Traçage automatique du bassin versant d'un point choisi sur le réseau hydrographique

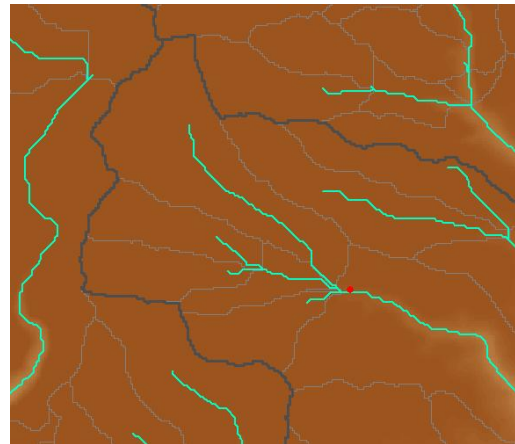
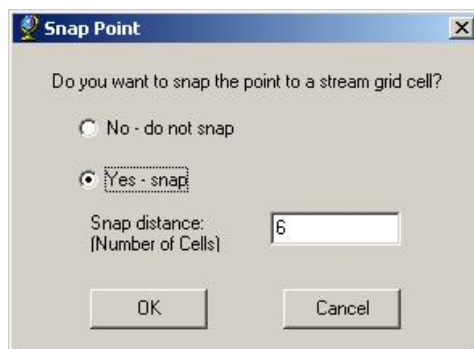
Cette fonction permet de dessiner et d'enregistrer le bassin versant d'un point situé sur le tronçon hydrographique (cf § 2.1).

Il suffit de passer par le bouton « Point Delineation » de la barre d'outil :

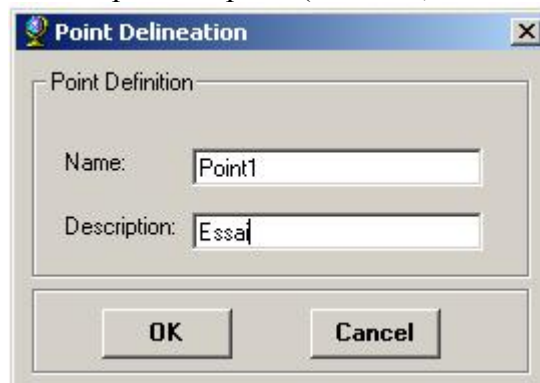


A la première utilisation, il faut donner le nom des couches qui vont stocker les points demandés ainsi que leur bassin correspondant.

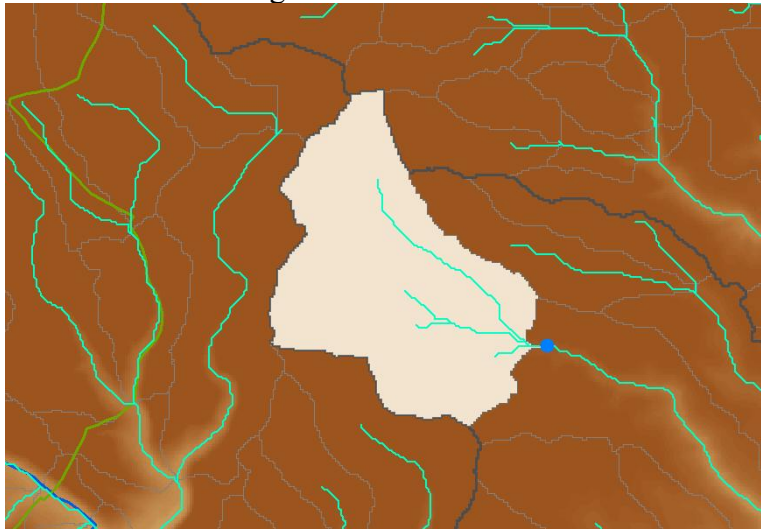
Cliquer ensuite sur la carte pour donner le point voulu. Si ArcGIS ne trouve pas de réseau à proximité, il propose de chercher autour. Le cas échéant, cocher « Yes – snap » et donner la distance de recherche.



Donner ensuite le nom et la description du point (numéro, cours d'eau...) :



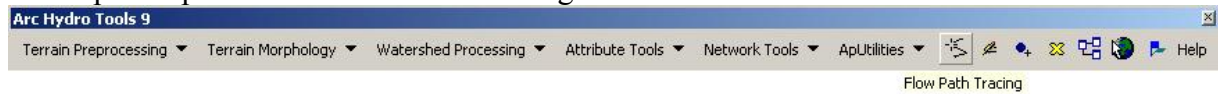
Le résultat du calcul s'affiche et s'enregistre dans les tables voulues :



2.4. Traçage du chemin d'écoulement d'une cellule

Cette fonction permet de retracer le chemin que parcourrait une goutte d'eau si elle partait de la cellule choisie. Pour fonctionner, cet outil ne nécessite que la direction des flux.

Il faut passer par l'outil « Flow Path Tracing » de la barre d'outils :



Un simple clic n'importe où sur la carte dessine le chemin parcouru par la « goutte » :

