



ECOLE HASSANIA  
DES TRAVAUX PUBLICS

Hydrologie

# Délimitation et caractérisation d'un bassin versant par l'outil ArcGIS

Mini Projet d'Hydrologie

Encadré par :

Mme **SEGHIR**

Réalisé par :

**CHAQDID abdelaziz** (2MET)

**LASRI nabila** (2MET)

**RWAWI chaimaa** (2MET)

## Sommaire

<b>Sommaire .....</b>	<b>1</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>Données générales sur le bassin versant d'oued Ourika .....</b>	<b>3</b>
<i>Situation géographique et climatique .....</i>	<b>5</b>
<i>Cadre géologique du bassin.....</i>	<b>5</b>
 <b>Le cadre du travail :.....</b>	<b>5</b>
 <b>Partie I : Préparation du MNT :.....</b>	<b>5</b>
1. <i>Base de travail .....</i>	<b>5</b>
2. <i>Définition d'un nouveau système de projection</i>	
3. <i>Délimitation du bassin versant</i>	
4. <i>Mesure de la surface et du périmètre d'un bassin.....</i>	<b>18</b>
5. <i>Le cours d'eau principal.....</i>	<b>19</b>
6. <i>L'ordre de chevelu .....</i>	<b>20</b>
7. <i>Diagramme hypsométrique .....</i>	<b>22</b>
 <b>Partie 2 : les caractéristiques géométriques et de pentes du bassin versant ..</b>	<b>5</b>
1. <i>Surface et périmètre</i>	
2. <i>Longueur du cours d'eau principal</i>	
3. <i>Indices de forme :</i>	
<i>KG : Indice de compacité de Gravelius</i>	
<i>KH : Indice de forme de Horton</i>	
4. <i>Rectangle équivalent</i>	
5. <i>Caractéristiques de relief :</i>	
6. <i>Courbe hypsométrique</i>	
7. <i>Diagramme hypsométrique</i>	
8. <i>Altitude moyenne</i>	
 <b>Conclusion.....</b>	<b>28</b>



## Introduction

Le SIG est considéré comme une des technologies de l'information les plus performantes car il vise à intégrer des connaissances provenant de sources multiples et crée un environnement pluri-secteurs idéal pour la collaboration.

L'outil Arcgis permet d'effectuer toutes sortes de tâches SIG, y compris :

- ✓ la cartographie,
- ✓ l'analyse géographique,
- ✓ l'édition de données (création, mise à jour,...),
- ✓ la gestion et l'organisation des données,
- ✓ la visualisation
- ✓ le géo-traitement.

Dans le cadre d'une autoformation constructive, j'ai réalisé ce projet en utilisant les fonctionnalités d'une extension du logiciel SIG d'Esri – ArcGIS 10.– appelée « arc hydro » pour la préparation des données nécessaires au fonctionnement du modèle hydrologique.

En fait, En utilisant un modèle numérique de terrain (MNT) comme entrée, on a pu délimiter automatiquement un système de drainage et de quantifier les caractéristiques de ce système, en passant par les diverses étapes.

## Données générales sur le bassin versant d'oued Ourika -Grand Bassin de Tansift-

### Situation géographique et climatique :

Le bassin-versant de l'Ourika à Aghbalou, localisé à une quarantaine de km au sud de Marrakech, se situe entre 31° et 31° 20' de latitude Nord et entre 7° 30' et 8° de longitude Ouest. Plusieurs indices d'aridité placent le secteur en zone semi-aride à tendance subhumide, où interfèrent les influences océanique (perturbations venues de l'ouest), continentale et montagnarde . La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17,6 °C à Aghbalou, mais la différence de température entre le mois le plus chaud (juillet) et le mois le plus froid (janvier) peut atteindre une amplitude de 15 °C. La région est caractérisée par une variabilité spatiotemporelle des précipitations et une irrégularité relative des écoulements superficiels.

### Cadre géologique du bassin:

Sur le plan géologique, le bassin versant offre deux grands types de faciès :

- une partie amont, située à des altitudes supérieures à 2 000 m, constituée de roches magmatiques et métamorphiques, qui constituent le socle de la chaîne atlasique.

On y rencontre des roches plutoniques (notamment des granites et granodiorites), des roches volcaniques (andésites, rhyolites, etc.) et des faciès métamorphiques (gneiss et migmatites).

Cette mosaïque cristalline est propice à un ruissellement immédiat des eaux de pluie.

- une partie septentrionale, située à des altitudes inférieures à 2 000 m, composée de dépôts permo-triasiques et quaternaires plus tendres. La lithologie du Permo-trias est composée d'un faciès nord, subatlasique, formé de conglomérats, grès et siltites, et d'un faciès sud des hauts plateaux, formé essentiellement de siltites argileuses et localement de grès massifs.

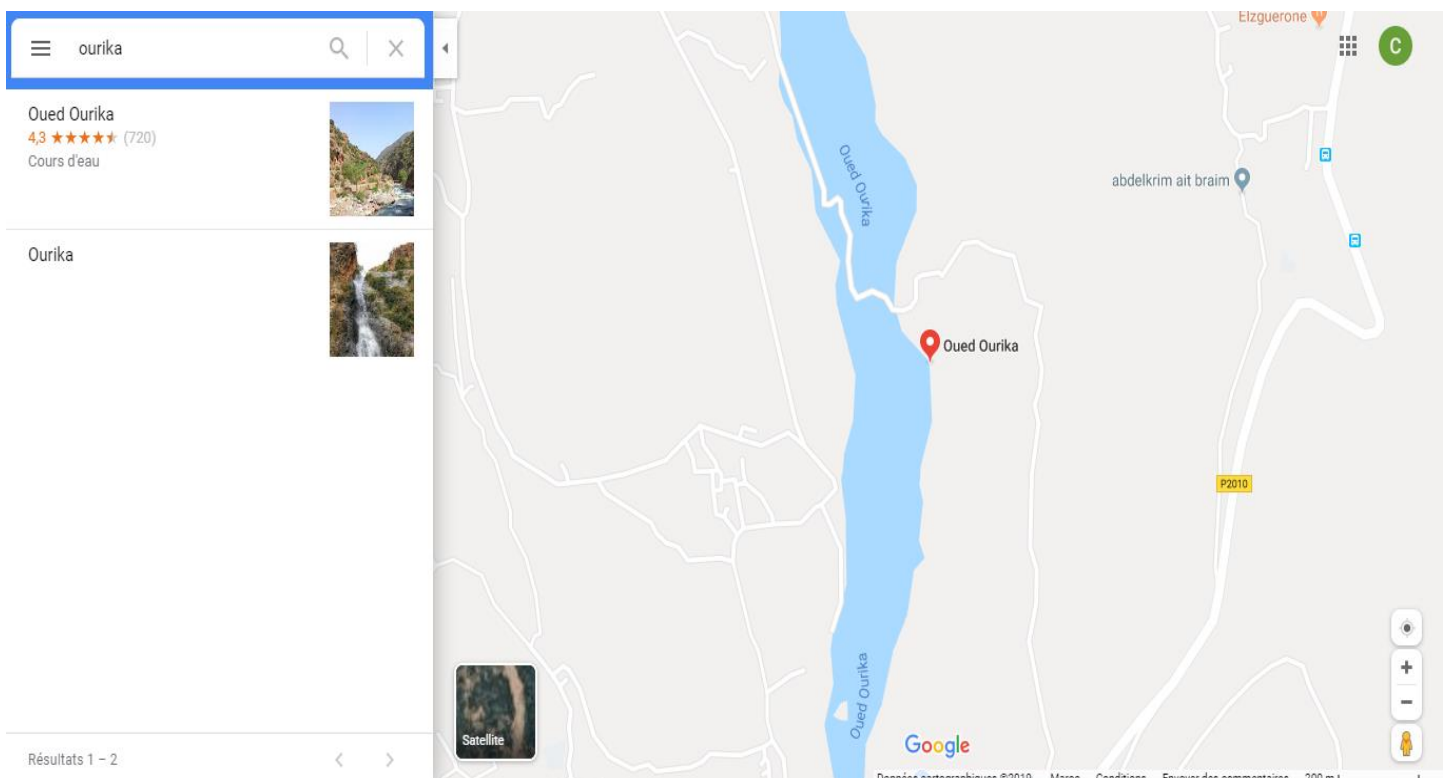
## Cadre du travail

Afin de délimiter et caractériser le bassin versant nous allons utiliser le logiciel ArcGIS et surtout les Outils de modélisation hydrologique proposés par l'extension Archydro qui nous fournissent des méthodes simples en termes de manipulation, permettant ainsi de décrire les composants physiques d'un bassin.

### Les données initiales :

Le bassin versant de l'Ourika a Aghbalou , localisé à une quarantaine de Km au sud de Marrakech, se situe entre  $31^{\circ}$  et  $31^{\circ}20'$  de latitude Nord et entre  $7^{\circ}30'$  et  $8^{\circ}$  de longitude Ouest .  
Deux stations hydrologiques de mesure de débit sont disponibles :

Station Hydro	Oued	X(Km)	Y(Km)	Z(m)
Aghbalou	Ourika	276 ,150	83,050	1070
Tazinount	Ourika	281,950	77,800	1240



# Partie I : Préparation du MNT :

La transformation de coordonnées de Lambert/Maroc vers Merchich/Maroc s'est effectuée sur le site : <https://tool-online.com/conversion-coordonnees.php>



Transformation de coordonnées en ligne

x (E) = 531000 m  
y (N) = 217450 m  
h = 0.000 m

Long = -5.06984507 °  
Lat = 32.55492425 °  
h = 0.000 m

Maroc  
Lambert Zone I

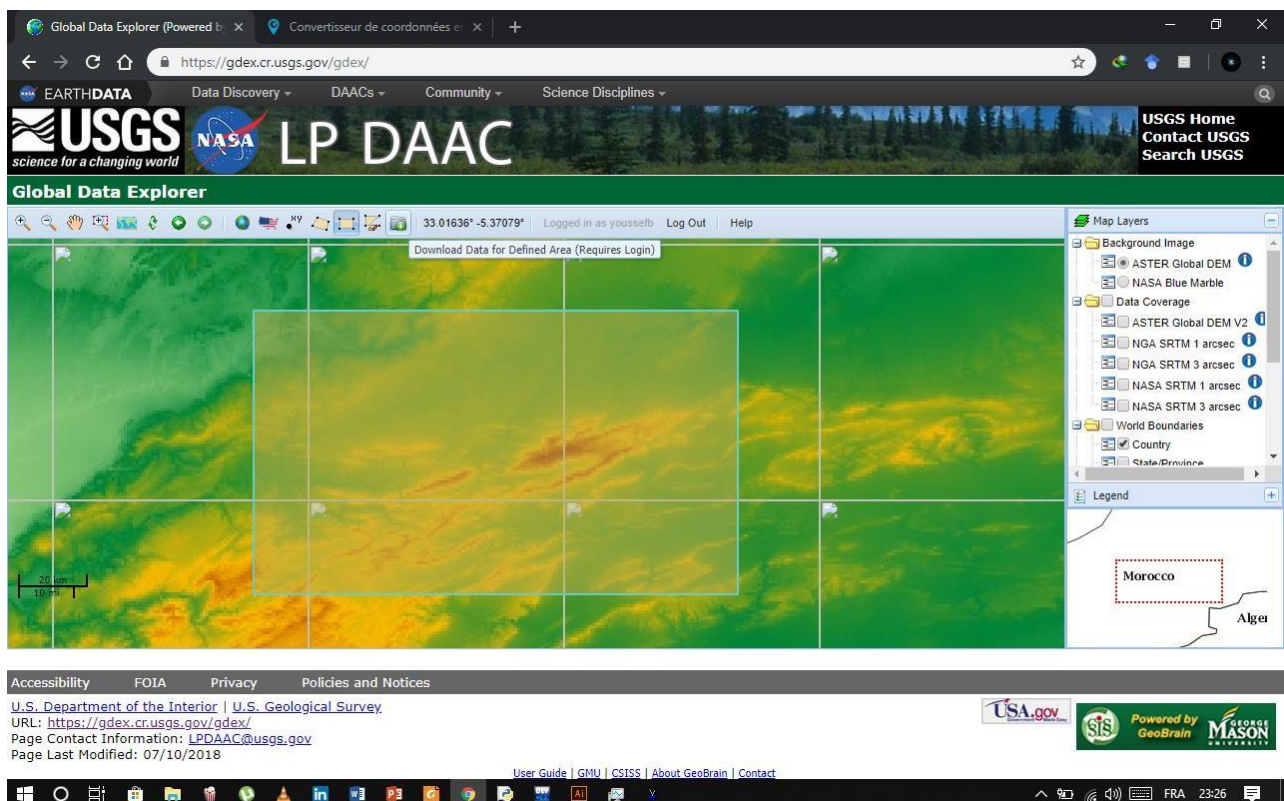
Maroc  
Merchich / Longitude-Latitudo

Open text file...

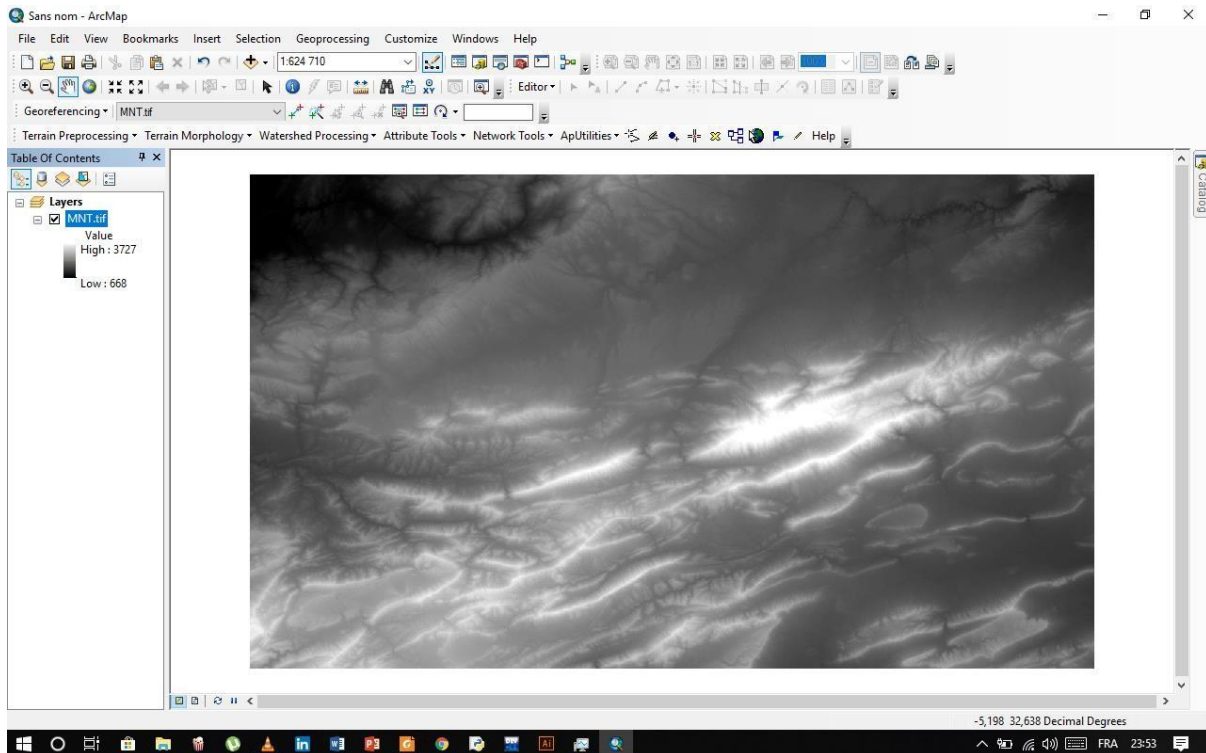
Aide et démonstrations Vidéo

Nous avons choisi de travailler sur le MNT 30m, donc nous avons téléchargé la zone étudiée sur le site : <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/> (après création d'un compte indiqué sur le guide).

La délimitation de la zone à étudier :



Après télécharger le MNT nous avons lancé ArcGIS pour commencer le travail :



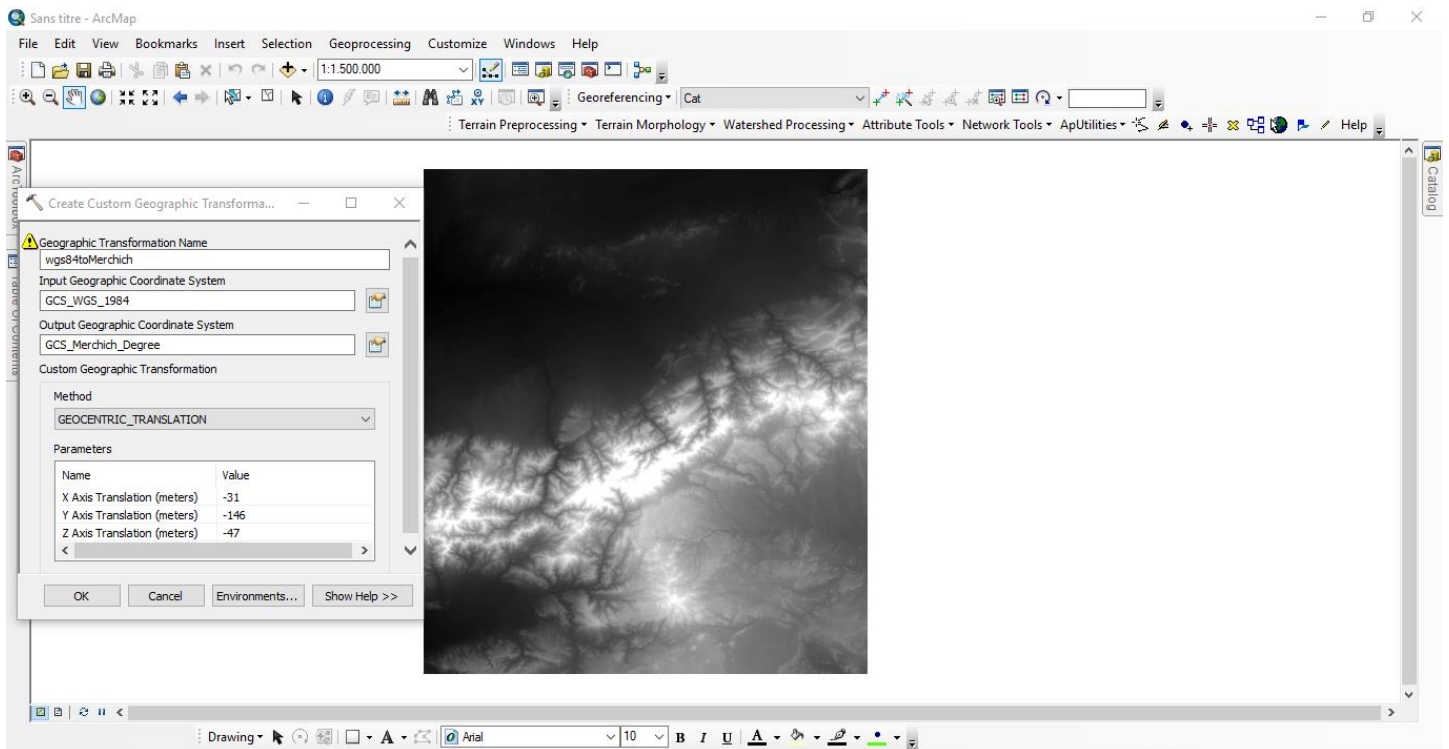
## Définition d'un nouveau système de projection : Changement du système de coordonnées du MNT

Pour la suite des calculs il fallait effectuer des transformations sur le MNT pour travailler dans un système de coordonnées projetées au lieu d'un système de coordonnées géographiques. Pour cela on a utilisé le système de coordonnées Merichich (degrés).

On utilise la méthode de la translation géocentrique avec les paramètres :

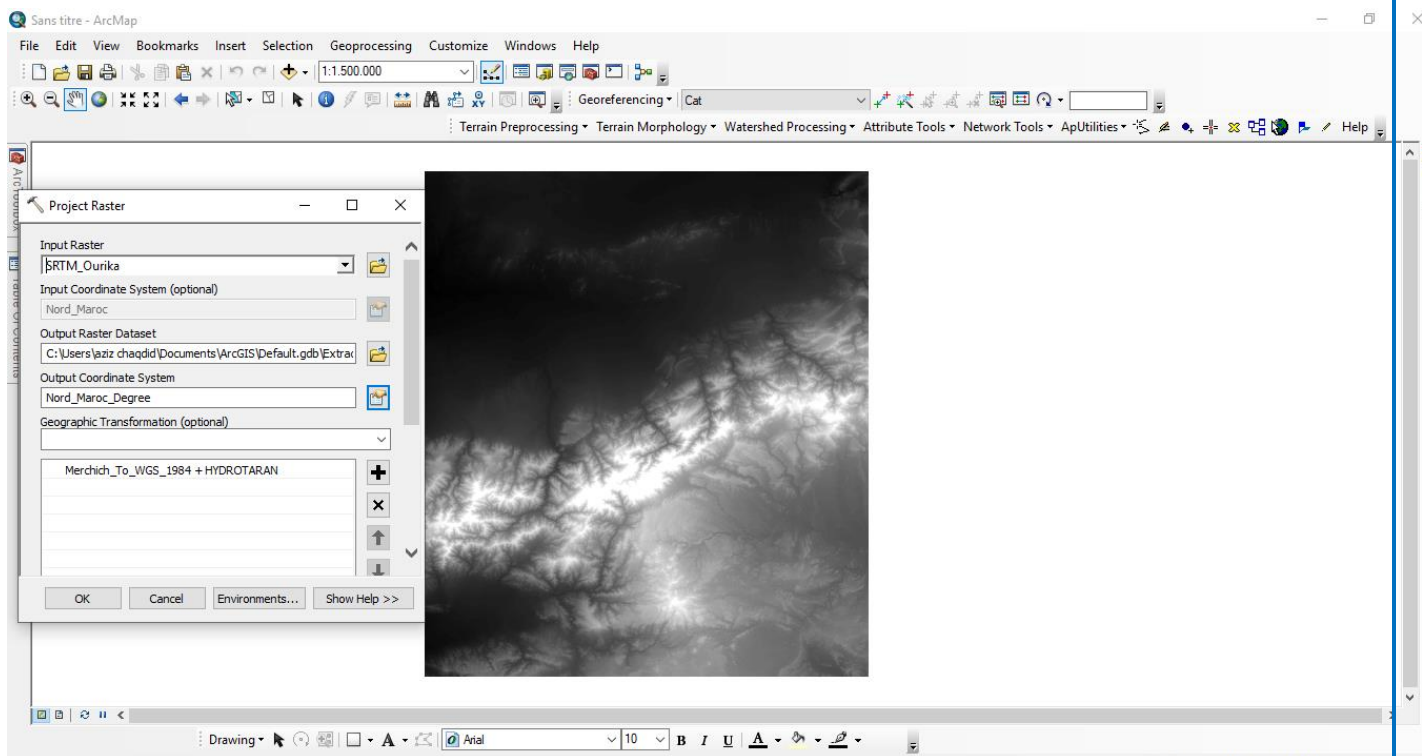
$$\begin{aligned} X &= -31 \\ Y &= -146 \\ Z &= -47 \end{aligned}$$





La transformation WGS84 → Merchich n'étant pas prédéfinie, il fallait la créer grâce à l'outil **Create Custom Geographic Transformation** dans l'onglet **Projections and Transformations** parmi les **Data Management Tools**.

Après avoir défini la transformation, on l'a appliqué au projet grâce à **Data Management Tools → Projections and Transformations → Raster → Project Raster** :





Après le géo référencement selon la norme marocaine, on a passée des coordonnées (latitude/longitude) aux coordonnées (X, Y), et ce, à travers un système de projection Lambert :

Après la transformation des coordonnées, on a fermé le projet actuel et on a lancé un nouveau projet dont la première couche est le résultat de ces transformations (puisque c'est la première couche d'un projet qui définit le système de coordonnées pour les autres couches).

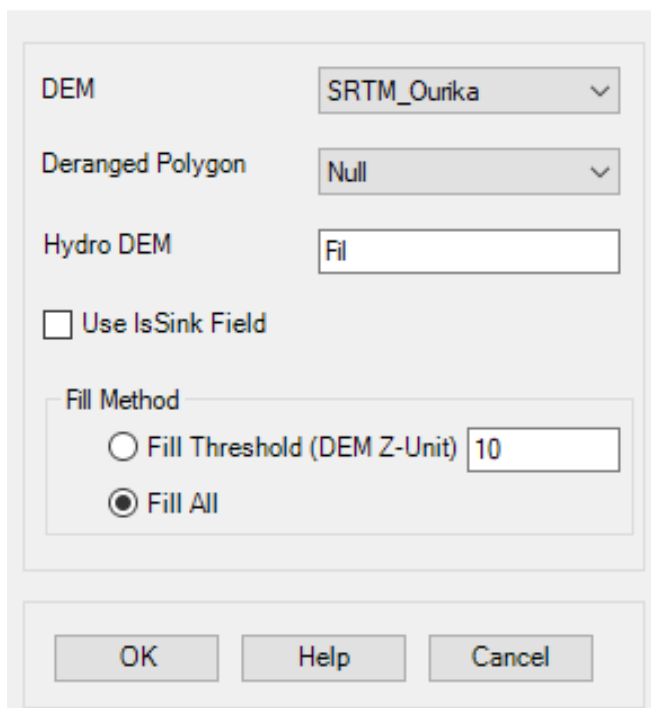
## Délimitation du bassin versant

On a commencé par installer l'extension ArcHydro parce que cette étape ainsi que celles qui la suivent nécessitent les outils d'ArcHydro.

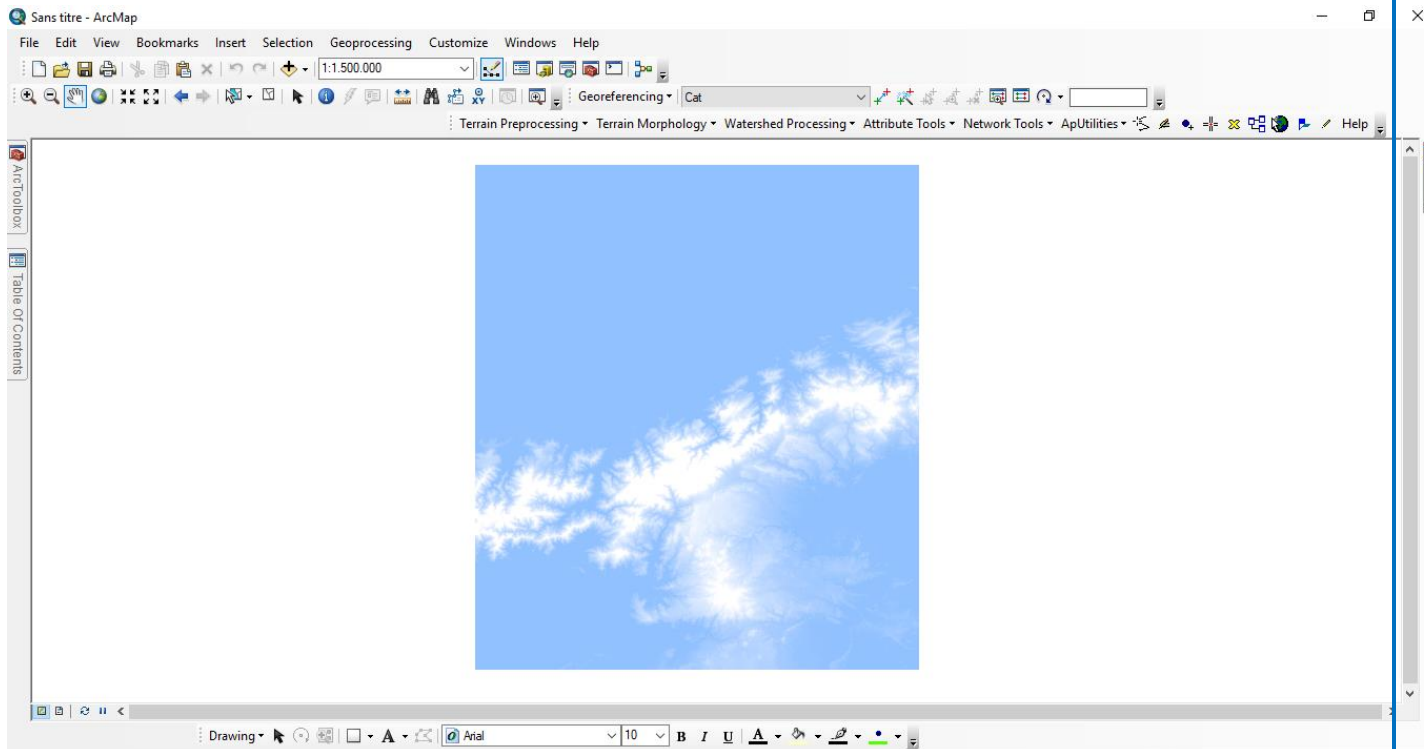
Afin de pouvoir l'utiliser, il faut sélectionner l'extension **Spatial Analyst** et cela en cliquant sur **Customize**. Les outils utilisés sont :

- **Terrain Processing → DEM Manipulation → Fill Sinks**

Il sert à corriger les valeurs aberrantes ou extrêmes risquant d'influencer la détermination du sens d'écoulement : cuvettes (fillsinks) ou crêtes.

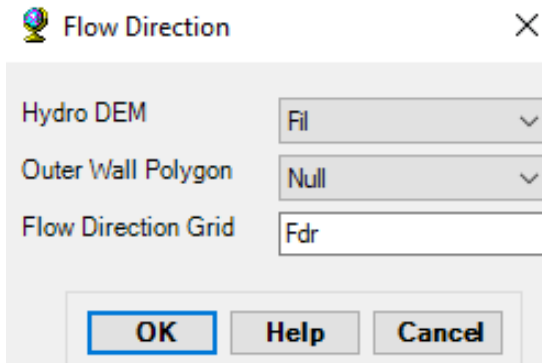
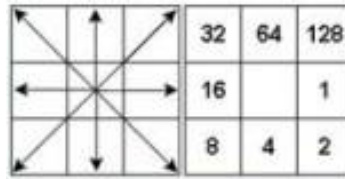


On obtient le résultat suivant :

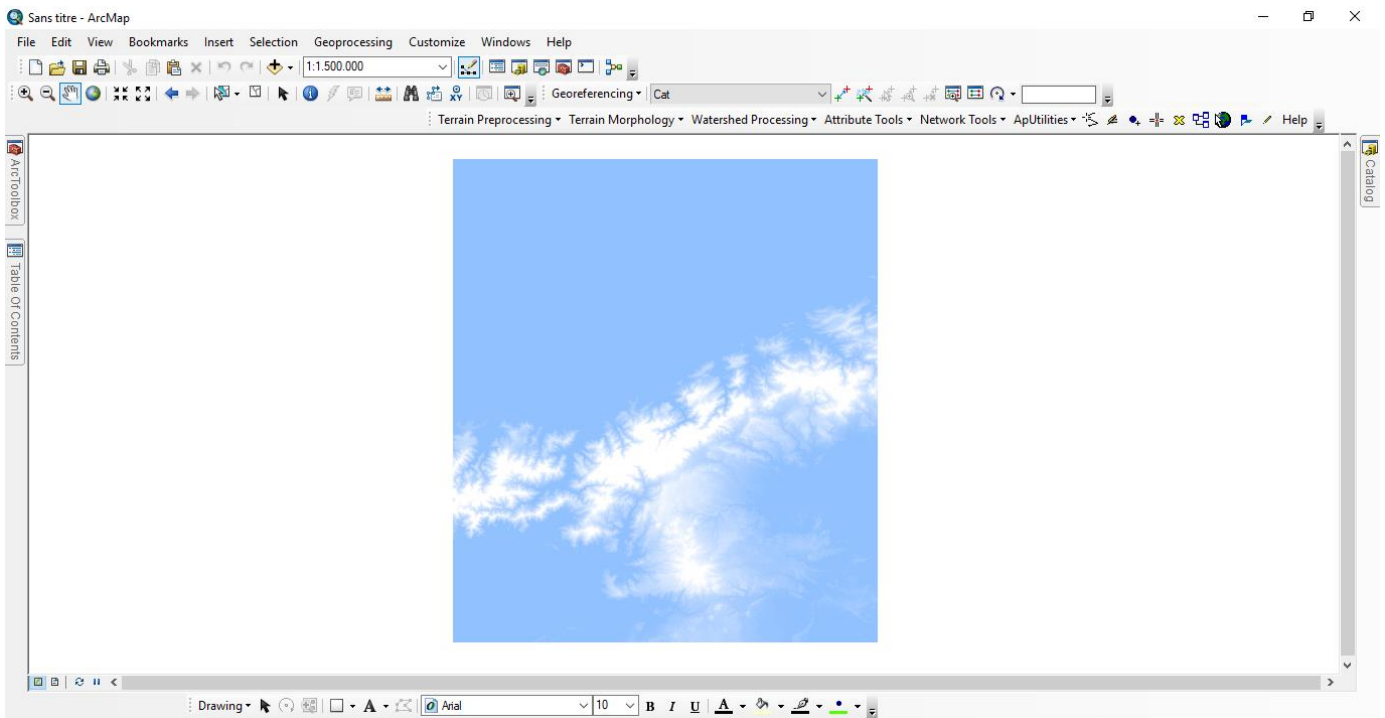


- **Terrain Processing → Flow Direction**

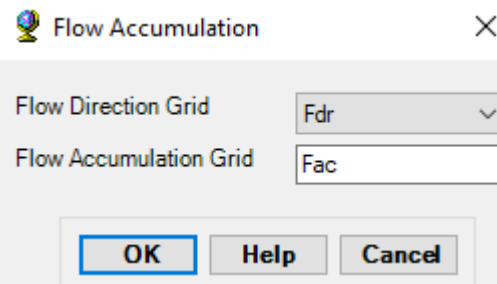
Il détermine pour chaque cellule élémentaire de la carte, le sens de l'écoulement par un système de numérotation, comme suit :



On obtient le résultat suivant :

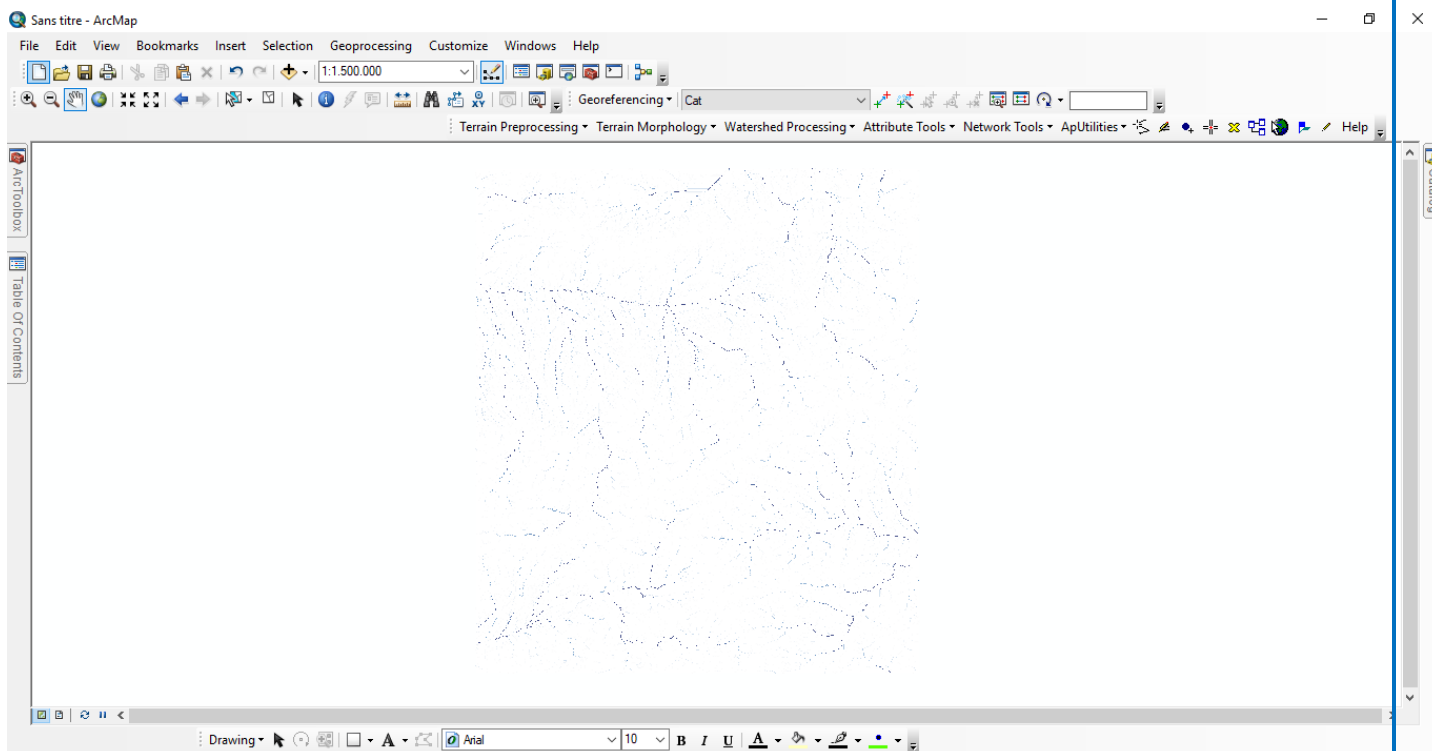


- **Terrain Processing → Flow Accumulation**



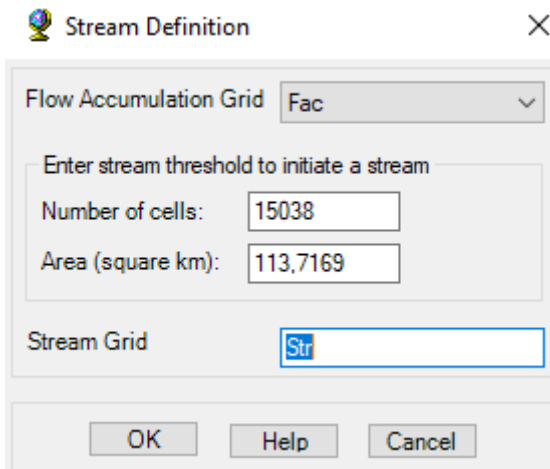
Il utilise le sens de l'écoulement qu'on vient de déterminer pour définir le réseau hydraulique de la carte :

On obtient le résultat suivant :

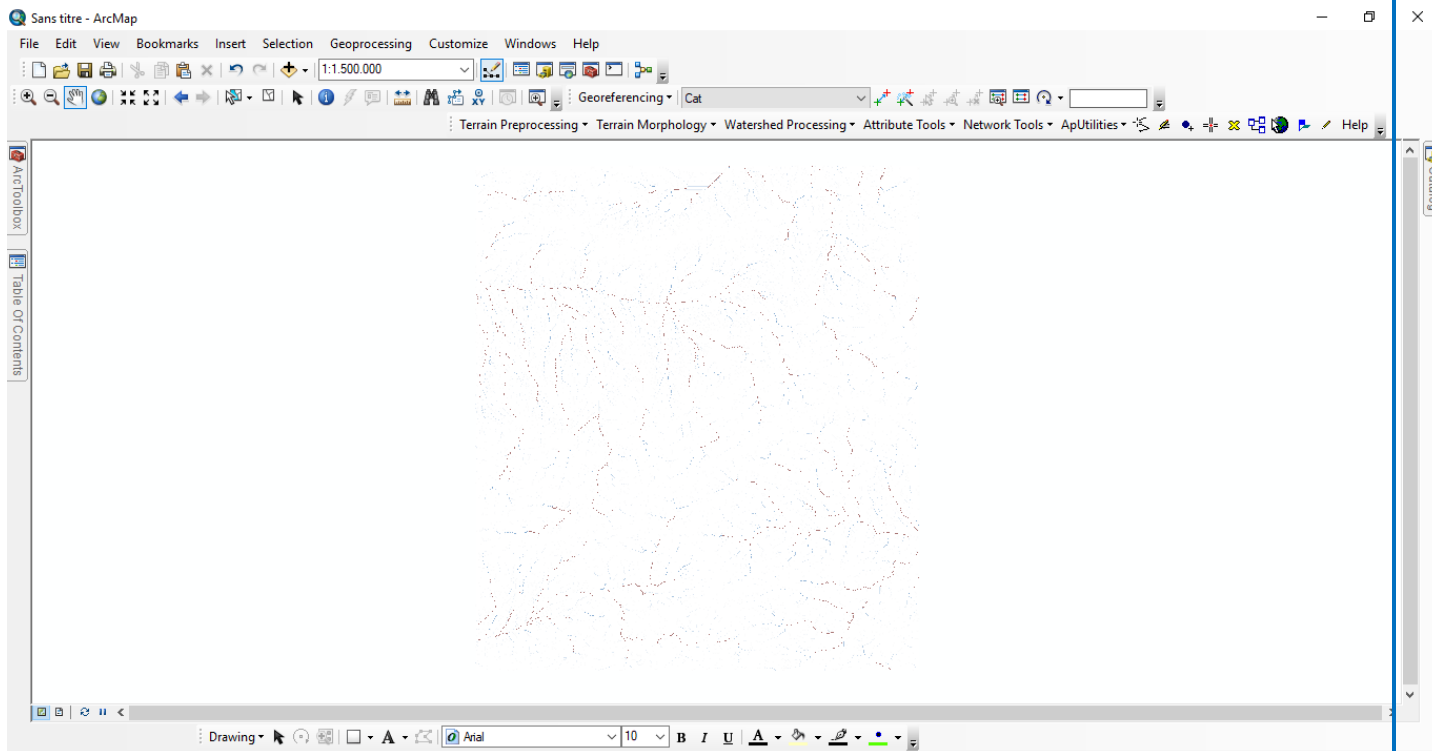


- **Terrain Processing → Stream Definition**

Il sert à affiner le réseau obtenu précédemment.

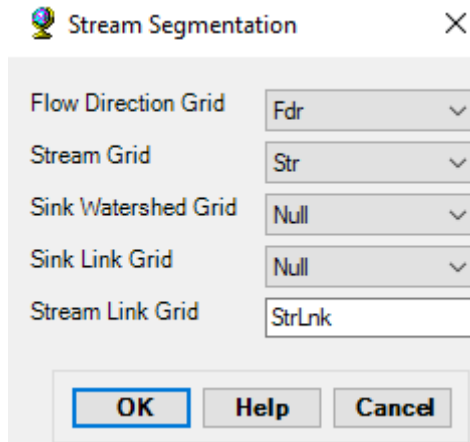


On obtient le résultat suivant :

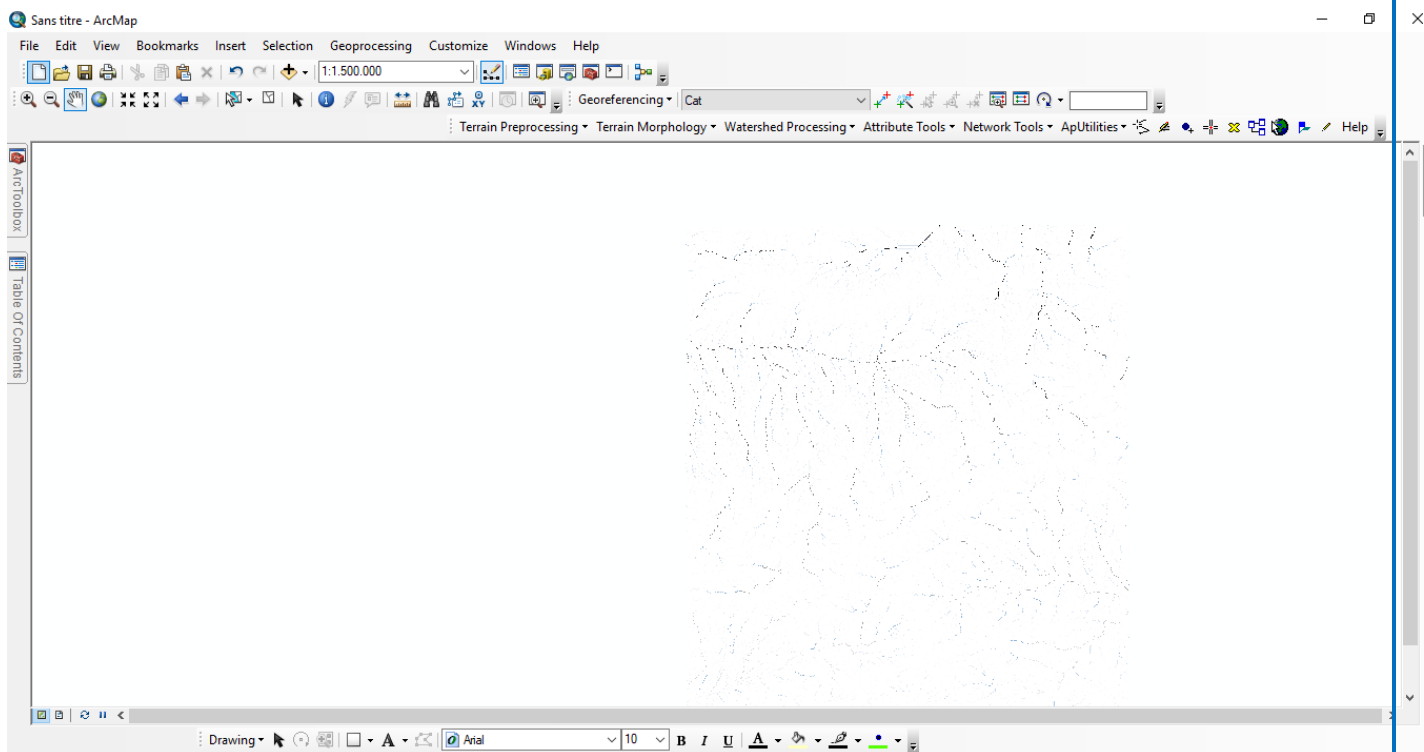


- **Terrain Processing → Stream Segmentation**

Il segmente le réseau d'écoulement en tronçons et impute à chacun un identifiant unique.

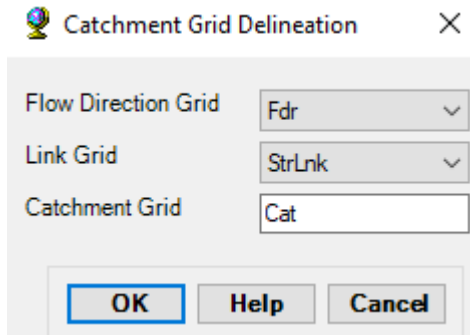


On obtient le résultat suivant :

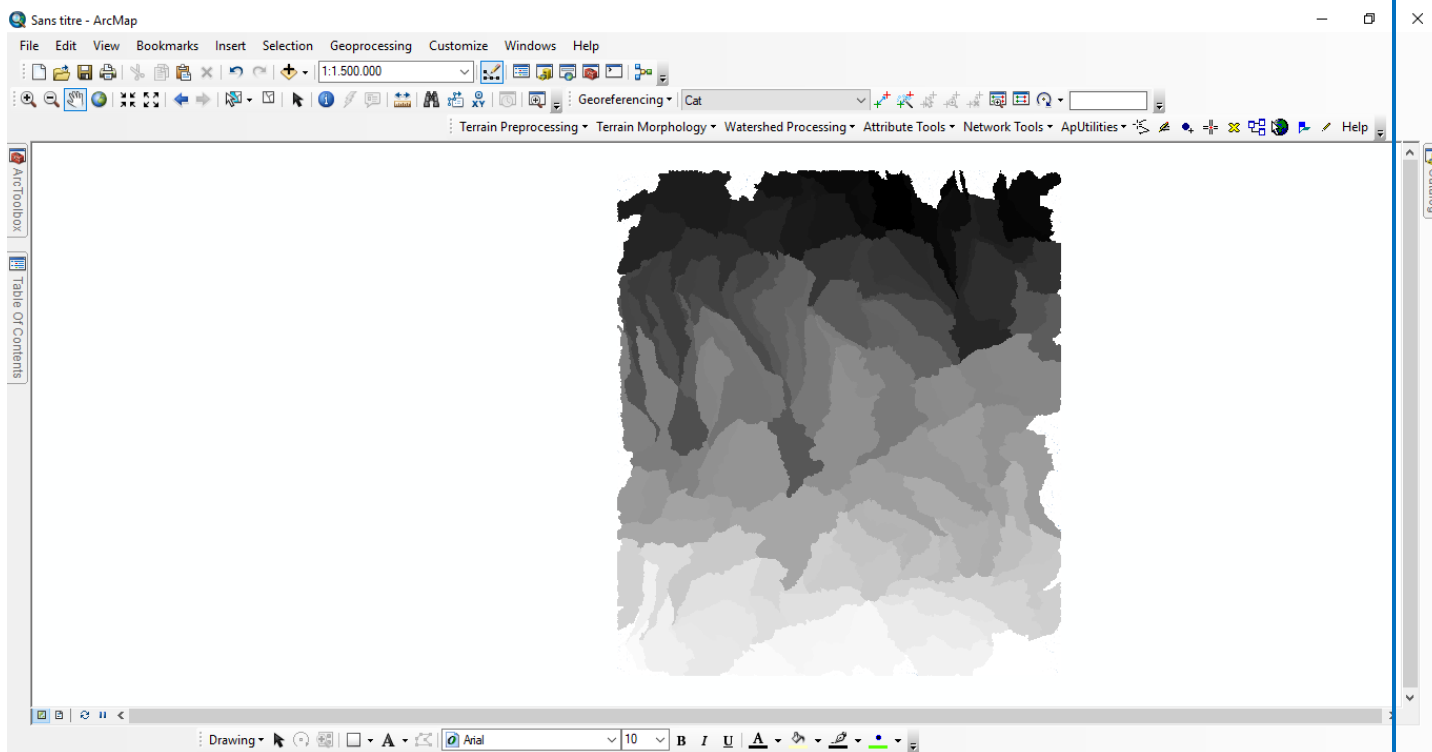


- **Terrain Processing → Catchment Grid Delineation**

Il délimite et associe à chaque segment de cours d'eau défini précédemment la surface qu'il draine en lui donnant le même identifiant.

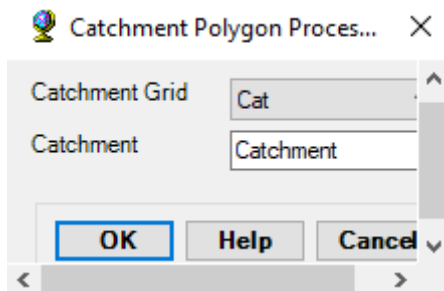


On obtient le résultat suivant :

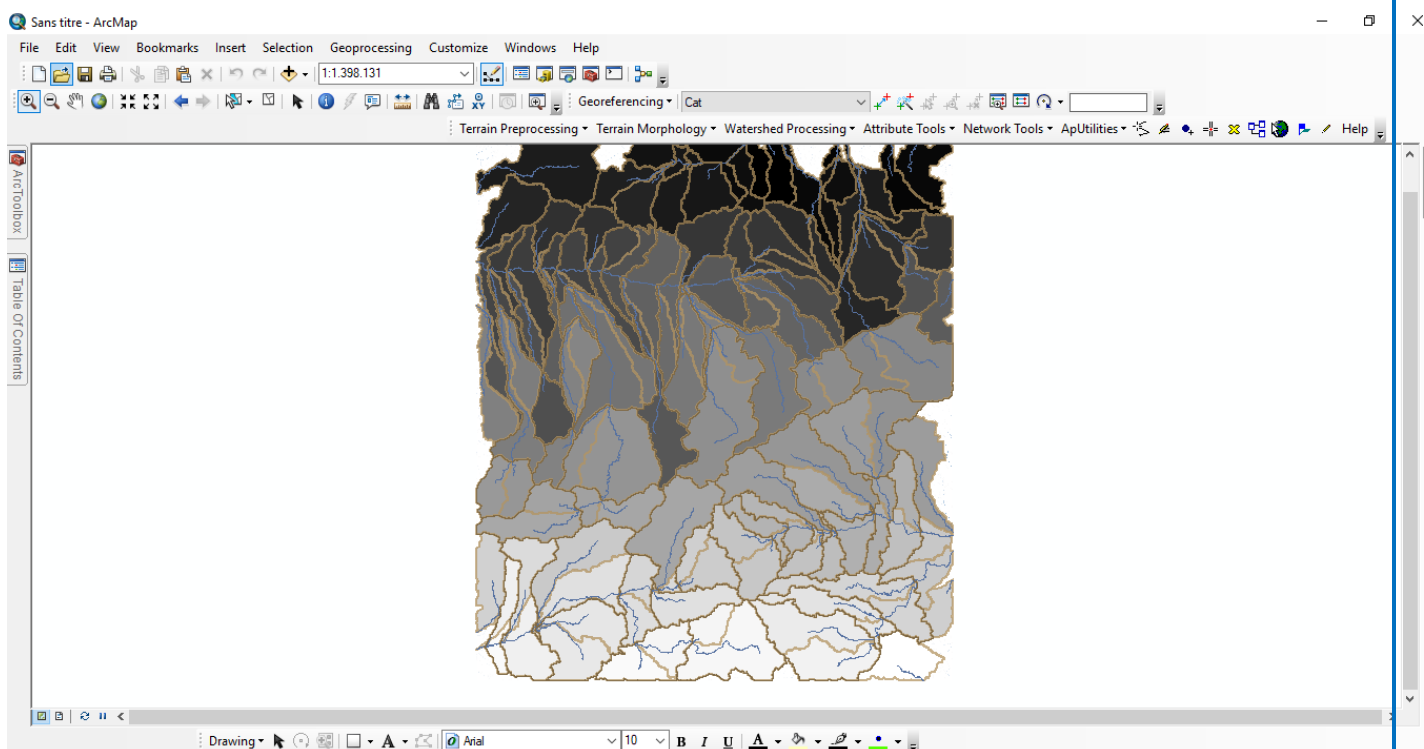




- **Terrain Processing → Catchment Polygon Processing**  
Il transforme les surfaces délimitées précédemment en polygones.

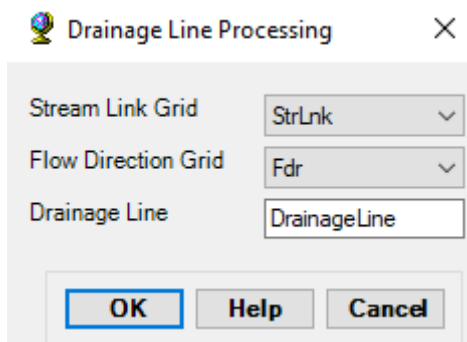


On obtient le résultat suivant :

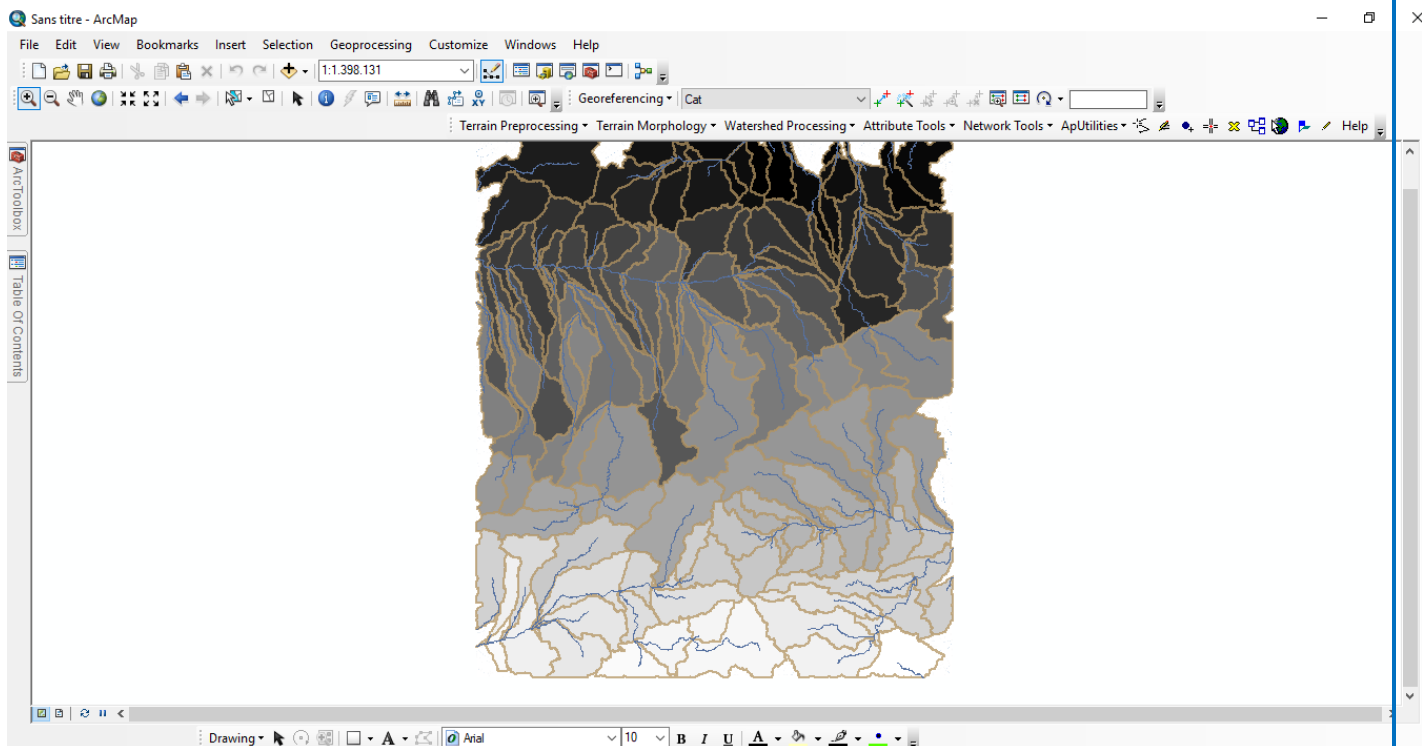


- **Terrain Processing → Drainage Line Processing**

Il convertit les cours d'eau de la représentation en grille en représentation vectorielle.

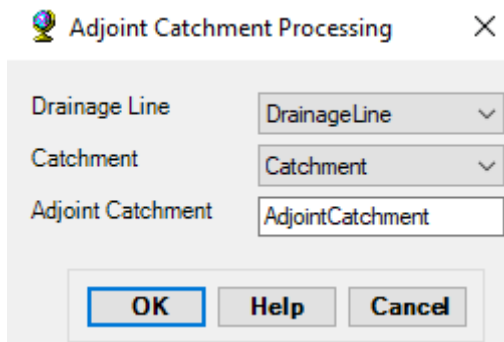


On obtient le résultat suivant :

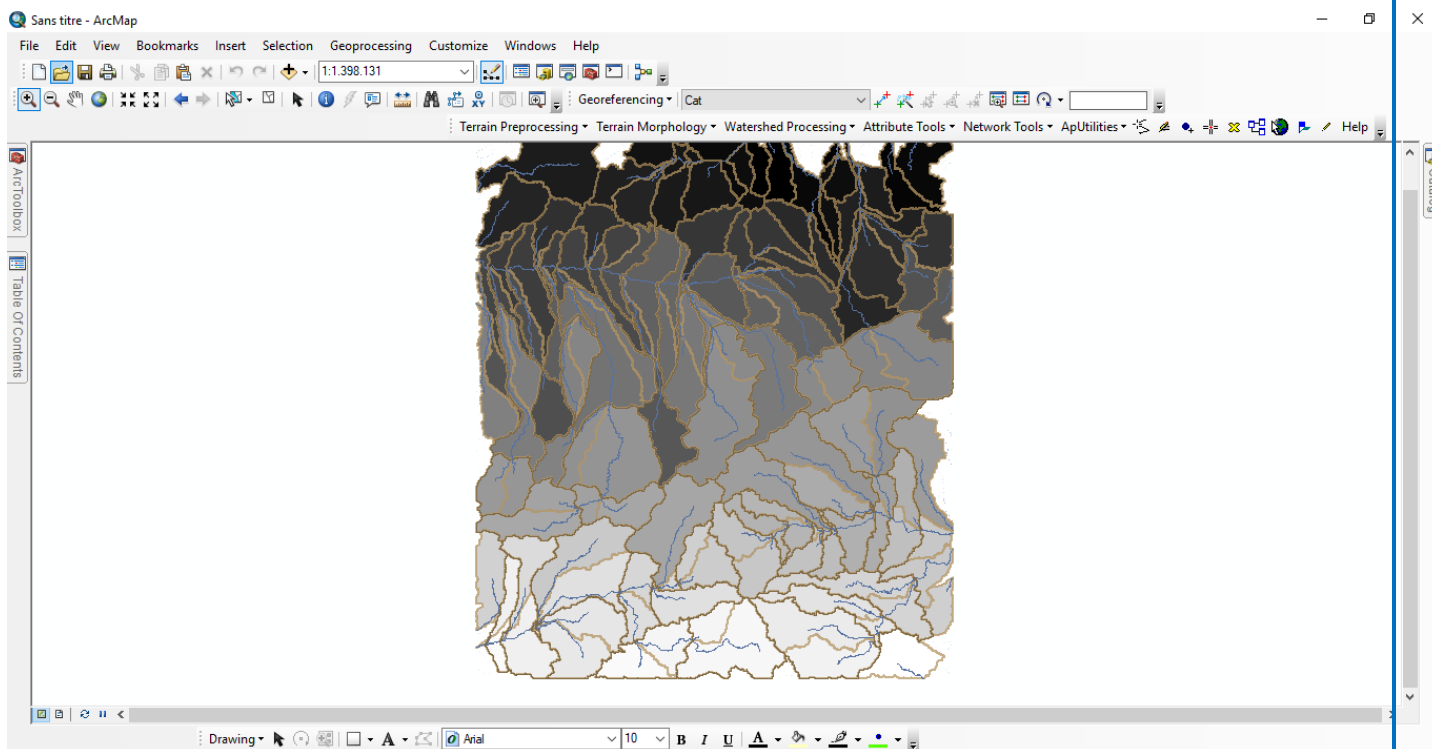


- **Terrain Processing → Adjoint Catchment Processing**


Il définit, pour chaque surface, un polygone de la surface drainée en amont.

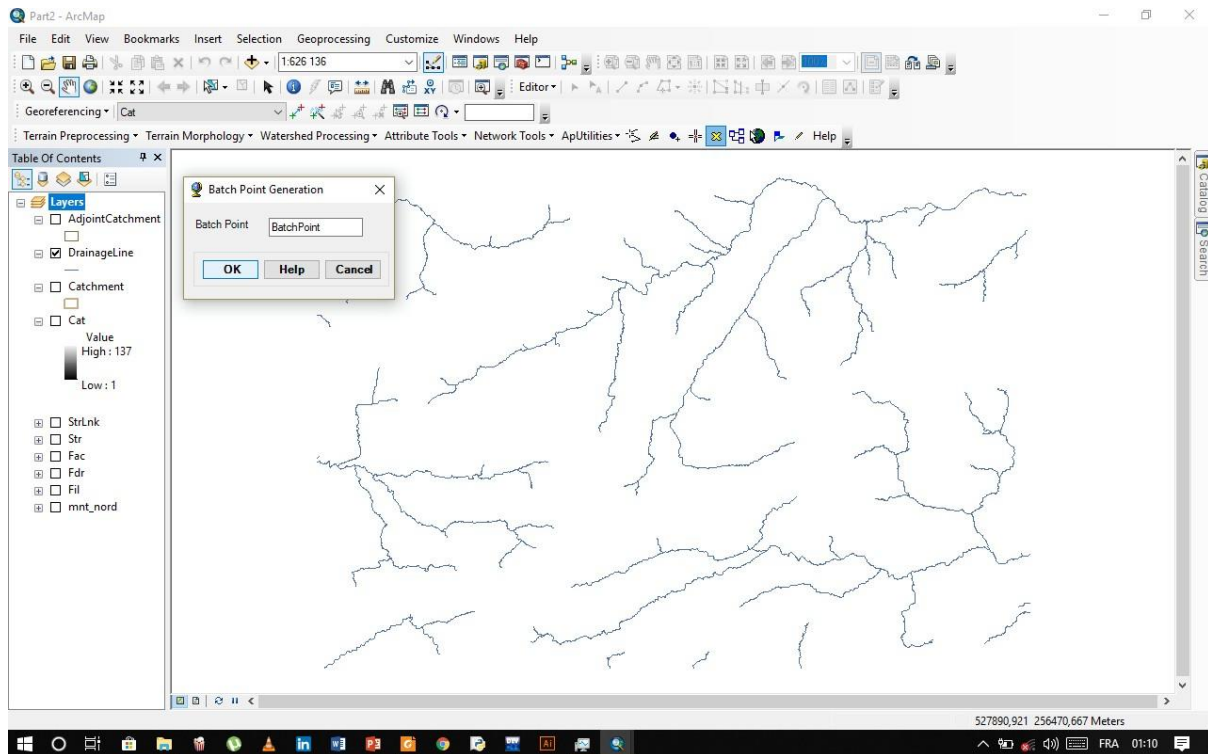


On obtient le résultat suivant :

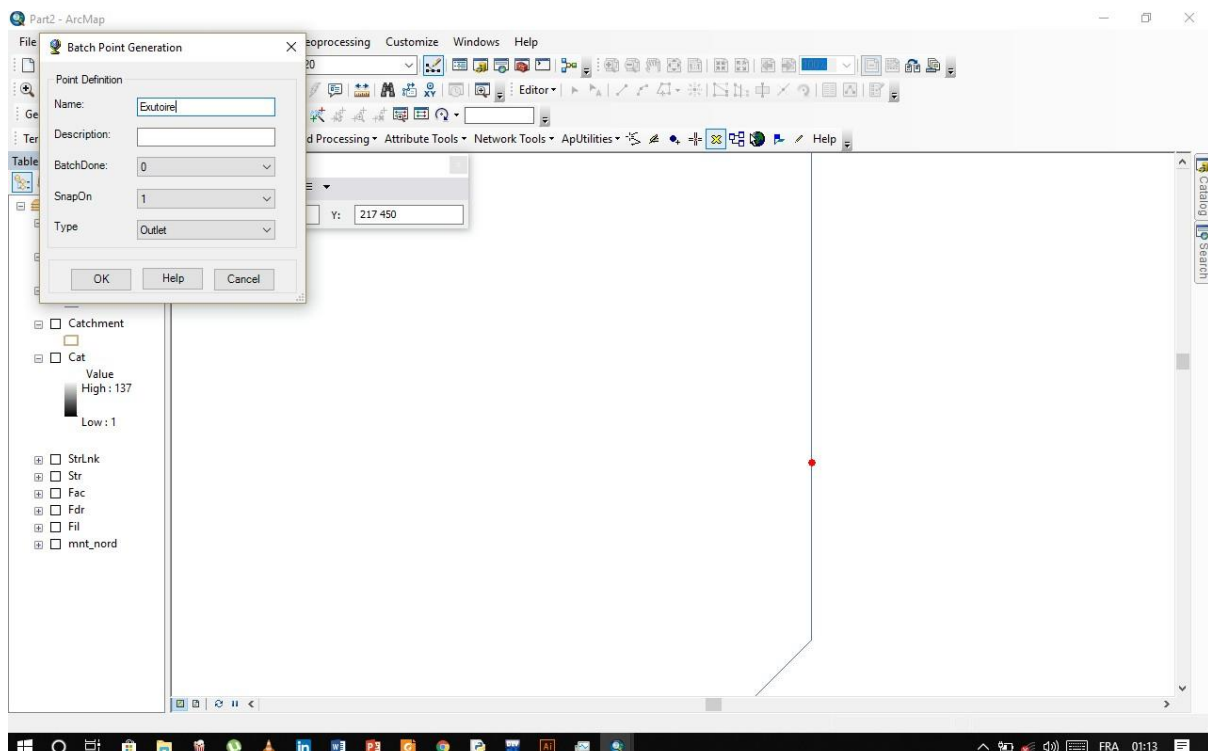
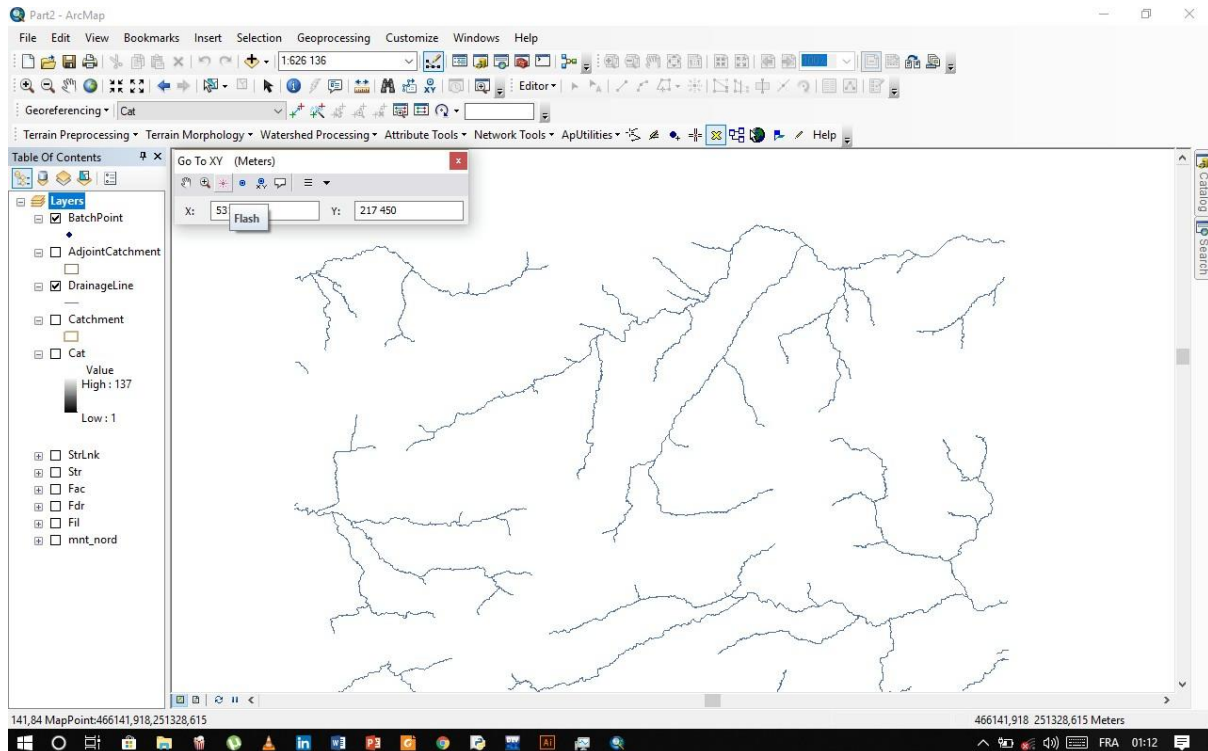


## • BatchPoint

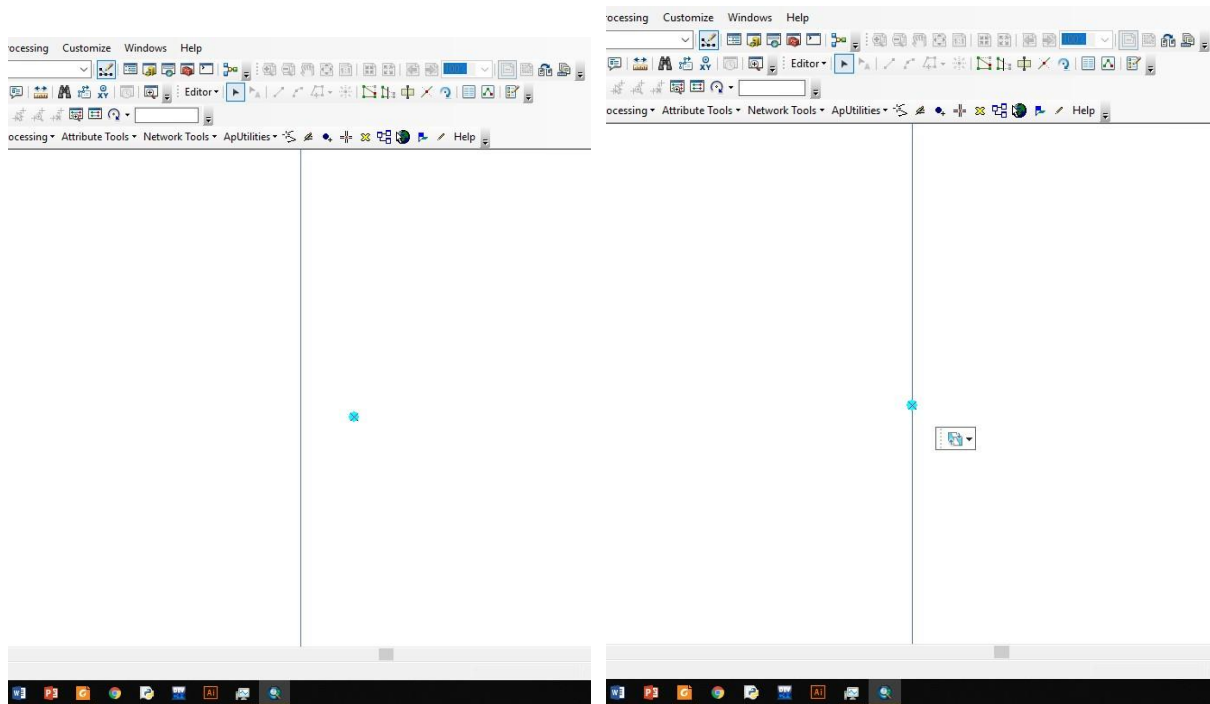
On clique d'abord sur  puis on confirme le nom batch point.



Pour cliquer sur l'emplacement de l'exutoire on utilise **Go to XY**

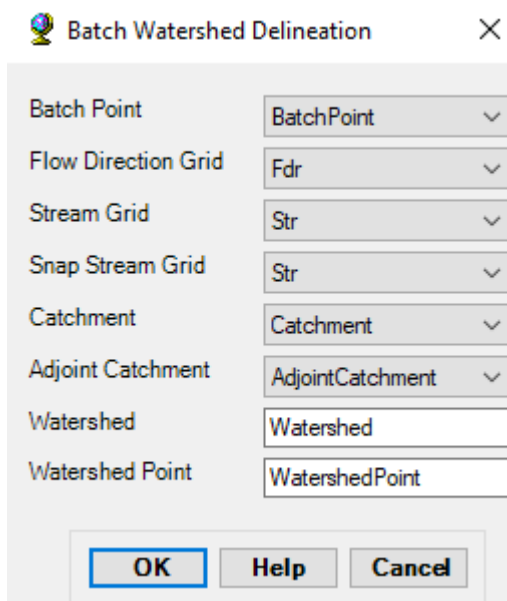


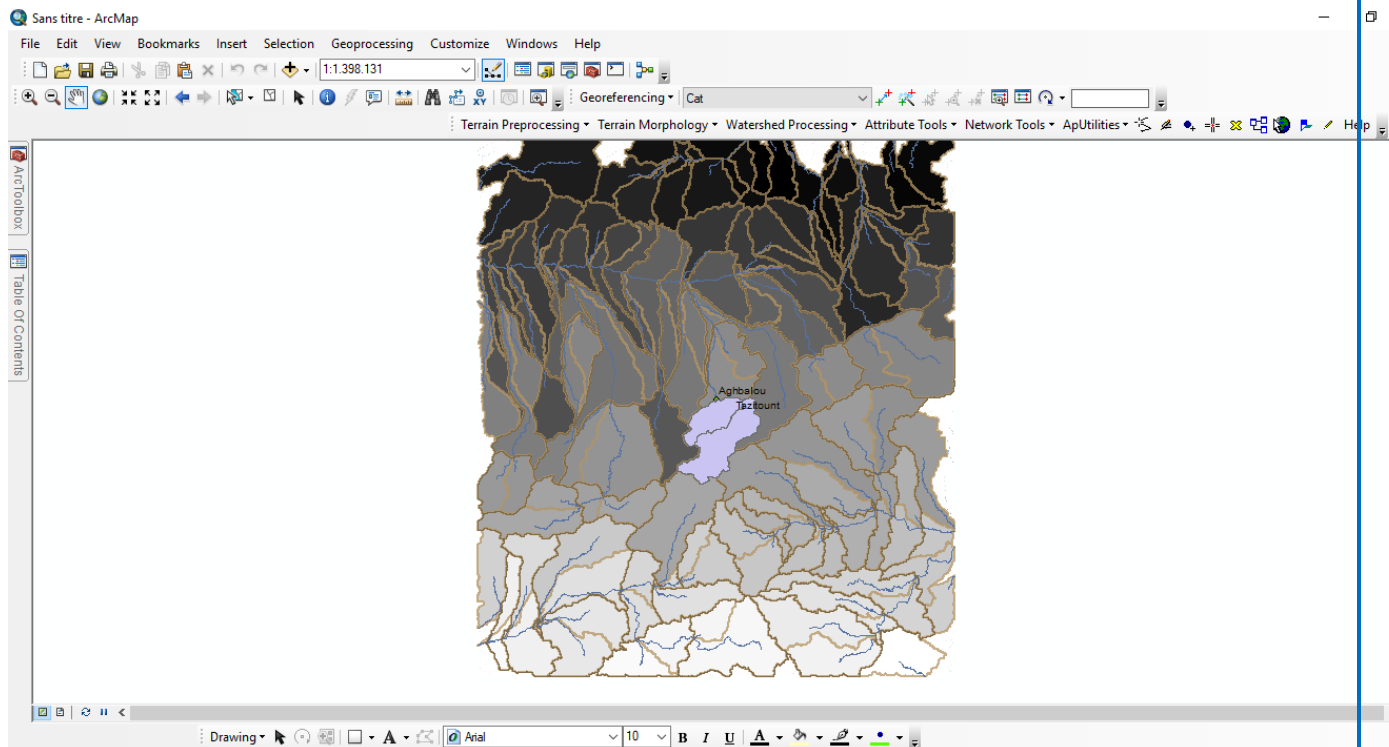
On remarque que l'exutoire n'est pas localisé sur le réseau hydrique, donc on l'a déplacé manuellement sur le cours d'eau.



- **Watershed Processing → Batch Watershed Delineation**

Il délimite le bassin versant associé à l'exutoire qu'on vient de définir.





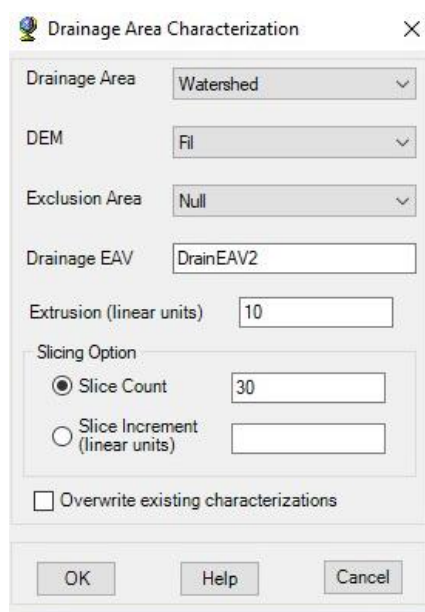
On obtient le résultat suivant :

## Mesure de la surface et du périmètre d'un bassin

On utilise l'outil :

- **Drainage Area Characterisation**

Il calcule automatiquement les surfaces et périmètre les surface, périmètre, les altitudes min et max.





On obtient le résultat suivant :

Shape *	OID *	Shape_Length	Shape_Area	HydroID	Name	MinElev	MaxElev	IsPitted	IsDone
Polygon	1	183482,2	645762281,58313	337	Exutoire	1659	3733	<Null>	1


Le tableau hypsométrique est :

OBJECTID *	FeatureID	BottomElev	TopElev	SicElev	CumArea	CumVolume
1	337	1659	1659	1659	2433,704061	0
2	337	1659	1728,133333	1693,566667	280687,201649	8750085,496964
3	337	1728,133333	1797,266667	1762,7	28828847,066506	958392280,465676
4	337	1797,266667	1866,4	1831,833333	69233201,879642	4259866514,005973
5	337	1866,4	1935,533333	1900,966667	120456182,476579	10750692179,889481
6	337	1935,533333	2004,666667	1970,1	171411455,626855	20926198415,525188
7	337	2004,666667	2073,8	2039,233333	214867675,331912	34286763462,199821
8	337	2073,8	2142,933333	2108,366667	259869297,115414	50709369366,460213
9	337	2142,933333	2212,066667	2177,5	304272227,700022	70218085299,218369
10	337	2212,066667	2281,2	2246,633333	346869349,871707	92712354827,112976
11	337	2281,2	2350,333333	2315,766667	388083316,902317	118118157057,47176
12	337	2350,333333	2419,466667	2384,9	425163231,968751	146290230306,22238
13	337	2419,466667	2488,6	2454,033333	454698664,447501	176740883156,44995
14	337	2488,6	2557,733333	2523,166667	477837511,420458	209005681857,0535
15	337	2557,733333	2626,866667	2592,3	497656786,054834	242743252578,25925
16	337	2626,866667	2696	2661,433333	514926350,068447	277765159455,54871
17	337	2696	2765,133333	2730,566667	531870608,972635	313965449884,67114
18	337	2765,133333	2834,266667	2799,7	545758135,57678	351224829966,12677
19	337	2834,266667	2903,4	2868,833333	558452335,956573	389394107637,8678
20	337	2903,4	2972,533333	2937,966667	571225226,10099	428452136337,14722
21	337	2972,533333	3041,666667	3007,1	583057084,008663	468355330695,69794
22	337	3041,666667	3110,8	3076,233333	594917335,130376	509076878595,88483
23	337	3110,8	3179,933333	3145,366667	605804915,862559	550594563780,90344
24	337	3179,933333	3249,066667	3214,5	614507841,583061	592794251857,94482
25	337	3249,066667	3318,2	3283,633333	620584800,622237	635490084904,07837
26	337	3318,2	3387,333333	3352,766667	626054956,115651	678587568572,34656
27	337	3387,333333	3456,466667	3421,9	631317435,529232	722046898334,8634
28	337	3456,466667	3525,6	3491,033333	636631022,728084	765874704412,72461
29	337	3525,6	3594,733333	3560,166667	641461925,288262	810056785872,3252
30	337	3594,733333	3663,866667	3629,3	644999719,757605	854539011618,96338
31	337	3663,866667	3733	3698,433333	645759846,659181	899170102932,72888
32	337	3733	3743	3738	645762280,363242	905627725736,36267

On utilise l'outil :

## Le cours d'eau principal

- Longest Flow Path


Longest Flow Path for Watersheds

Watershed
Watershed

Watershed Point
WatershedPoint

Catchment
Catchment

Adjoint Catchment
AdjointCatchment

Drainage Line
DrainageLine

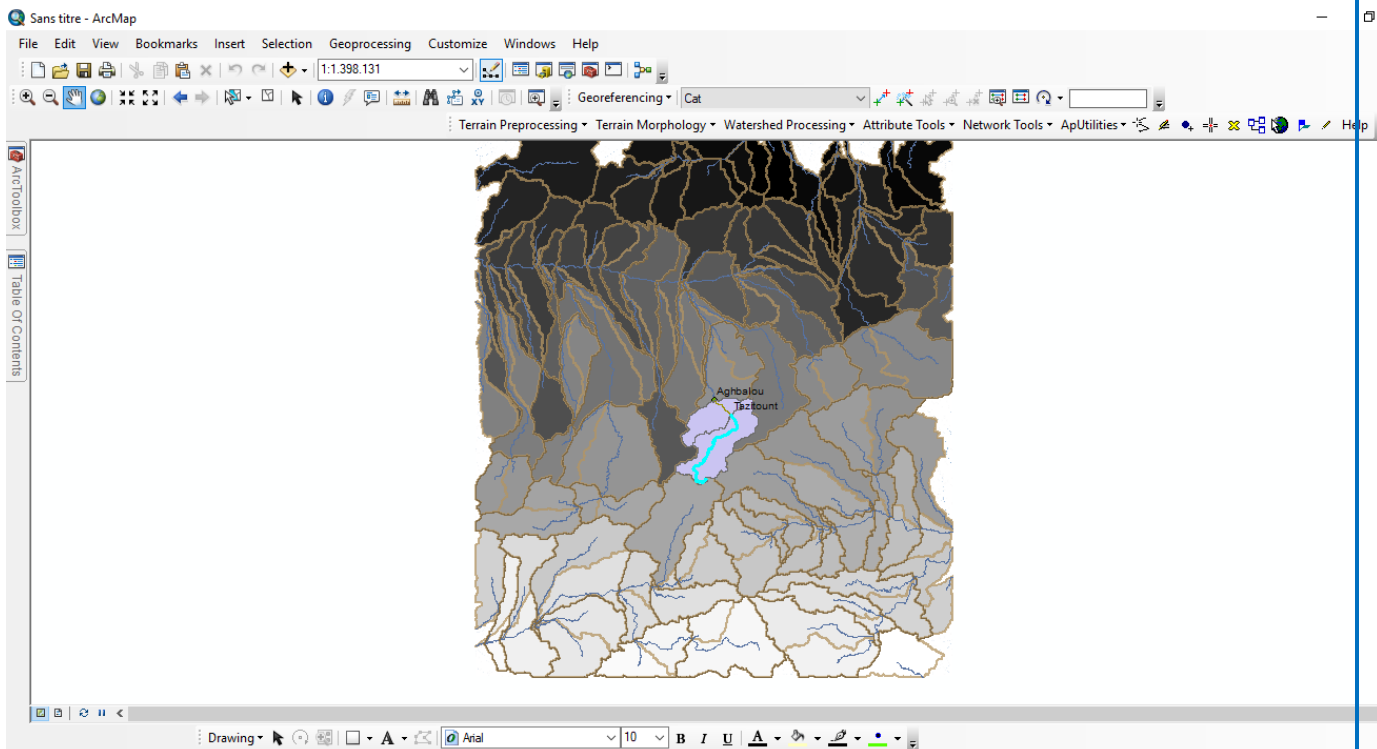
Longest Flow Path Adjoint Catchment
DrainageLine

Flow Direction Grid
Fdr

Longest Flow Path
LongestFlowPath

OK
Help
Cancel

On obtient le résultat suivant :

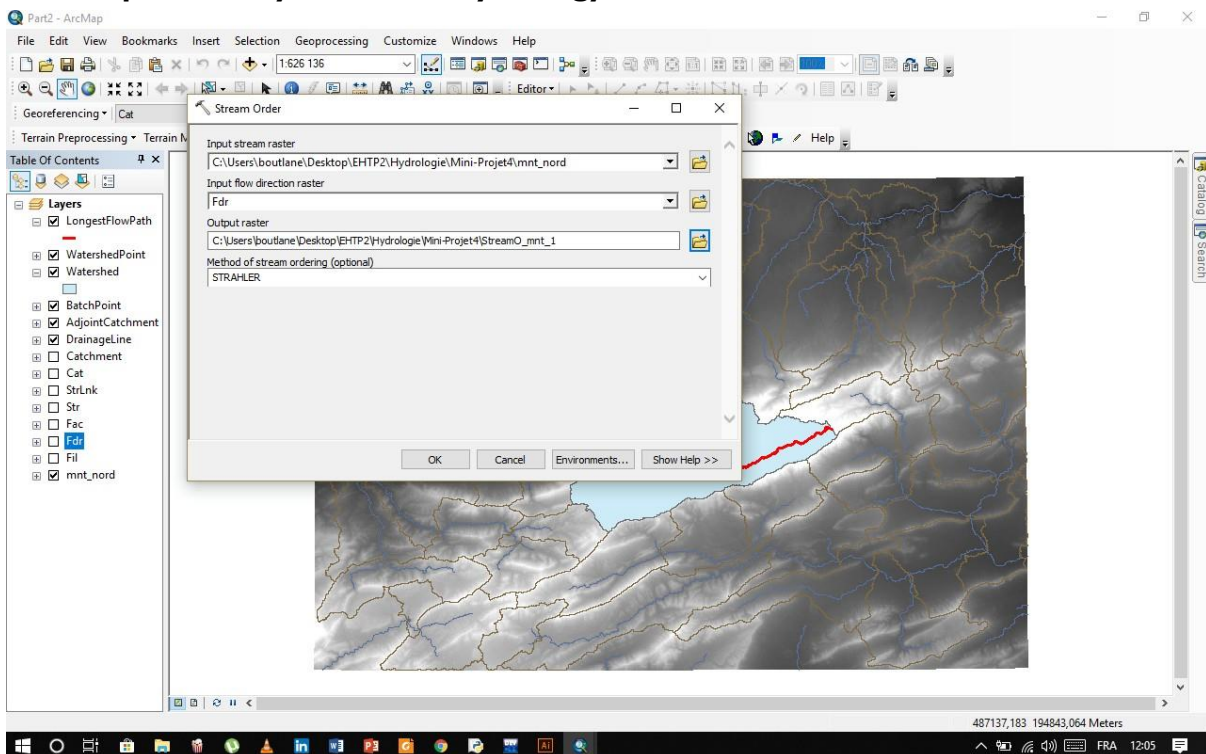


Le cours d'eau a les caractéristiques suivantes :

LongestFlowPath				
Shape *	OID *	Shape_Length	HydroID	DrainID
Evolve	1	54308,076436	339	337

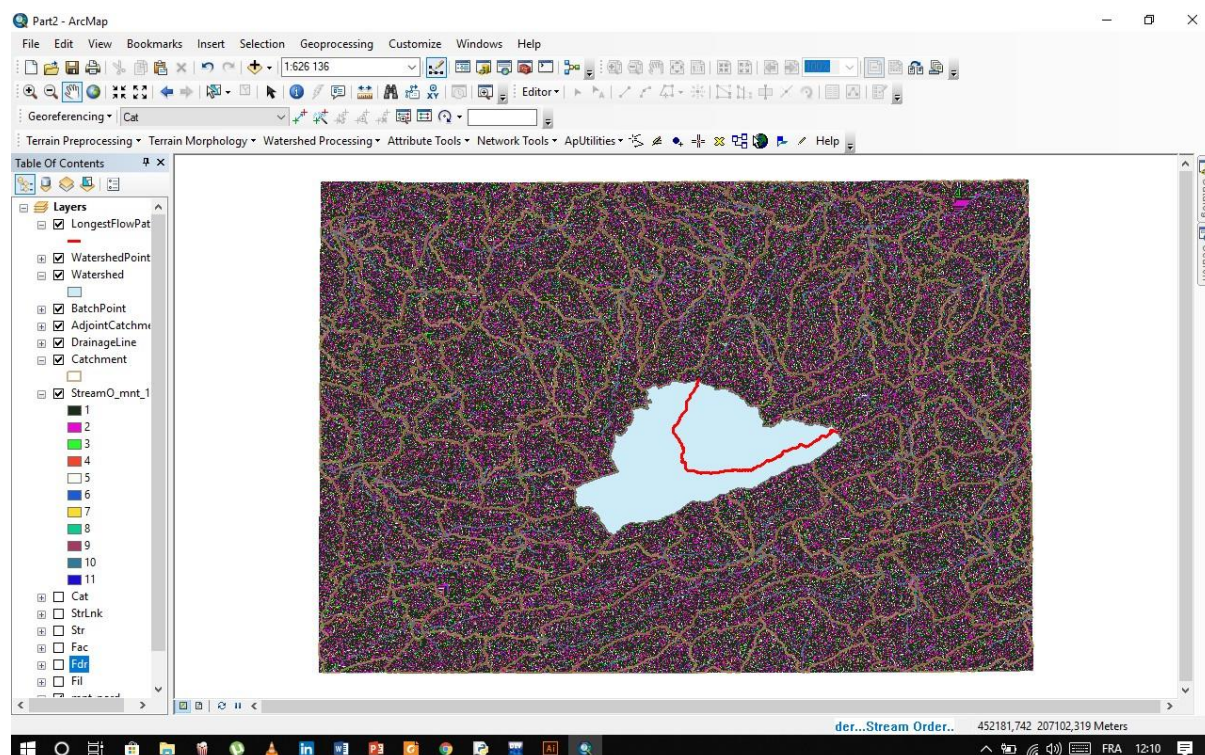
## L'ordre de chevelu

- **Spatial analyst tools → Hydrology → Stream Order**

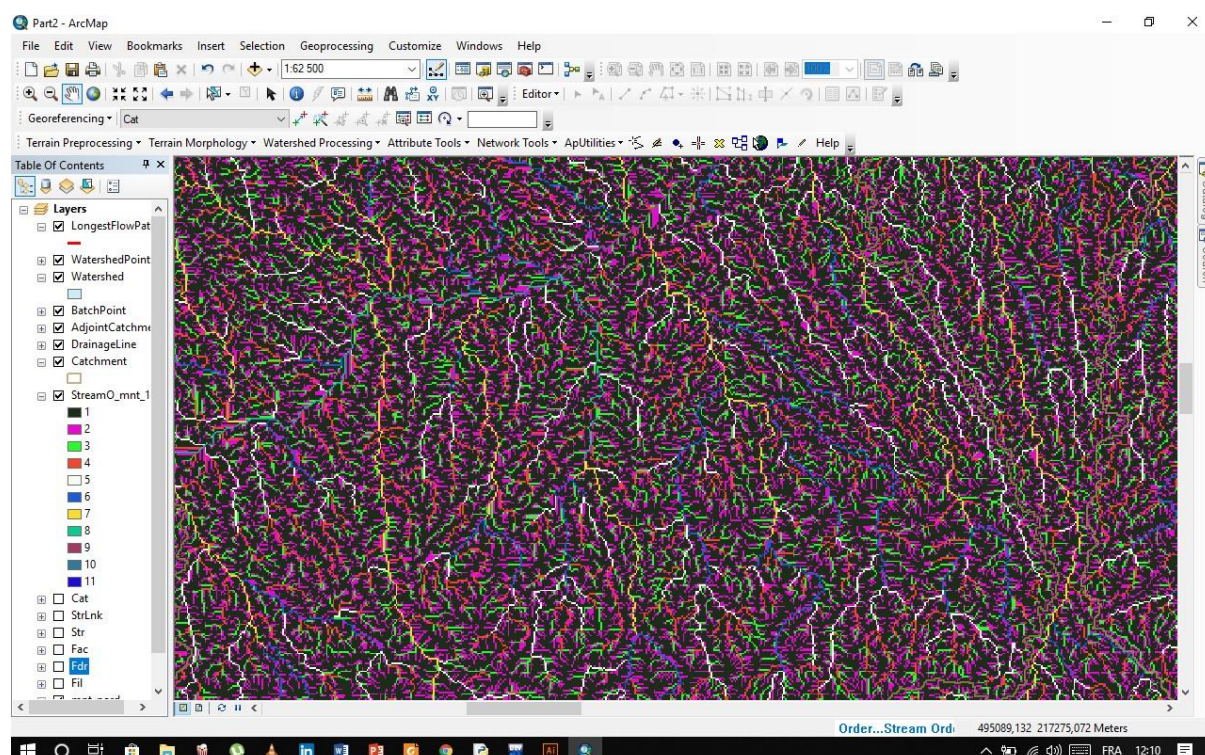




On obtient le résultat suivant :



Un zoom sur la carte nous donne :



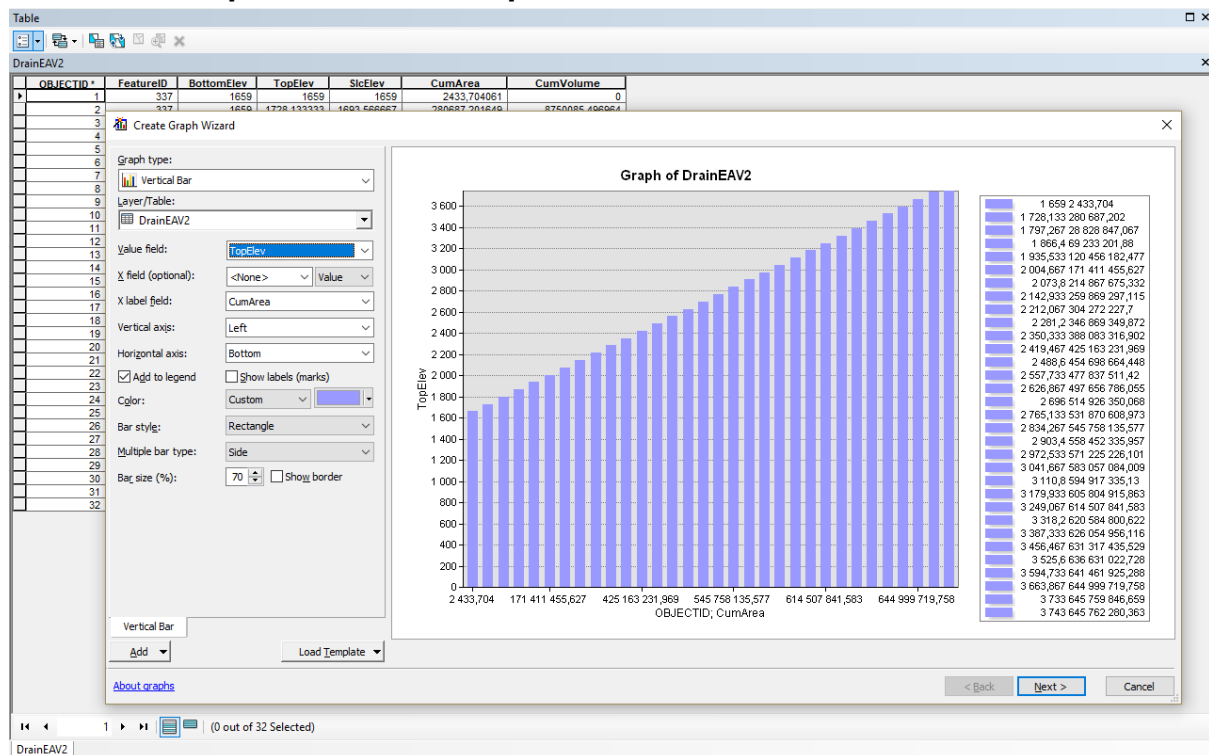
## Diagramme hypsométrique

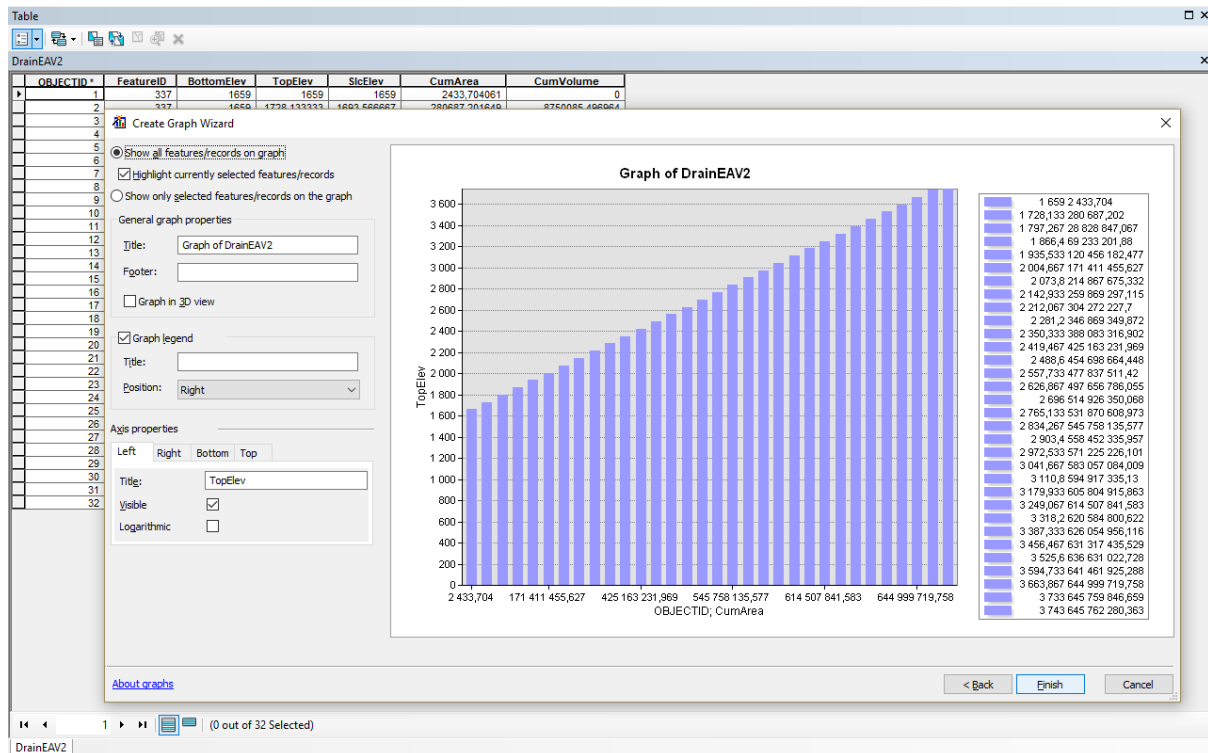
Le tableau hypsométrique est :

OBJECTID *	FeatureID	BottomElev	TopElev	SlcElev	CumArea	CumVolume
1	337	1659	1659	1659	2433,704061	0
2	337	1659	1728,133333	1693,566667	280687,201649	8750085,496964
3	337	1728,133333	1797,266667	1762,7	28828847,066506	958392280,465676
4	337	1797,266667	1866,4	1831,833333	69233201,879642	4259686514,055973
5	337	1866,4	1935,533333	1900,966667	120456182,478579	10759692179,889481
6	337	1935,533333	2004,666667	1970,1	171411455,628855	20926198415,525188
7	337	2004,666667	2073,8	2039,233333	214867675,331912	34286763462,199821
8	337	2073,8	2142,933333	2108,366667	259869297,115414	50709369366,460213
9	337	2142,933333	2212,066667	2177,5	304272227,700022	70218085299,218369
10	337	2212,066667	2281,2	2246,633333	346869349,871707	92712354827,112976
11	337	2281,2	2350,333333	2315,766667	388083316,902317	118118157057,471776
12	337	2350,333333	2419,466667	2384,9	425163231,968751	146290230306,22238
13	337	2419,466667	2488,6	2454,033333	454686664,447501	176740883156,44995
14	337	2488,6	2557,733333	2523,166667	477837511,420458	209005681857,0535
15	337	2557,733333	2626,866667	2592,3	497856786,054834	242743252576,25925
16	337	2626,866667	2696	2661,433333	514826350,068447	277785159455,54871
17	337	2696	2765,133333	2730,566667	531870608,972635	313965449884,67114
18	337	2765,133333	2834,266667	2799,7	545758135,57678	351224829966,12677
19	337	2834,266667	2903,4	2868,833333	558452335,956573	389394107637,8678
20	337	2903,4	2972,533333	2937,966667	571225226,10099	428452136337,14722
21	337	2972,533333	3041,666667	3007,1	583057084,008663	468355330695,69794
22	337	3041,666667	3110,8	3076,233333	594917335,130376	509076878595,86483
23	337	3110,8	3179,933333	3145,366667	605804915,862559	550594563780,90344
24	337	3179,933333	3249,066667	3214,5	614507841,583061	592794251857,94482
25	337	3249,066667	3318,2	3283,633333	620584800,622237	635490084904,07837
26	337	3318,2	3387,333333	3352,766667	626054856,115651	678587568572,34656
27	337	3387,333333	3456,466667	3421,9	631317435,529232	72204689634,8634
28	337	3456,466667	3525,6	3491,033333	636631022,728084	765874704412,72461
29	337	3525,6	3594,733333	3560,166667	641461925,288262	810056785872,3252
30	337	3594,733333	3663,866667	3629,3	644999719,757605	854539011618,96338
31	337	3663,866667	3733	3698,433333	645759846,659181	899170102932,72888
32	337	3733	3743	3738	645762280,363242	905627725736,36267

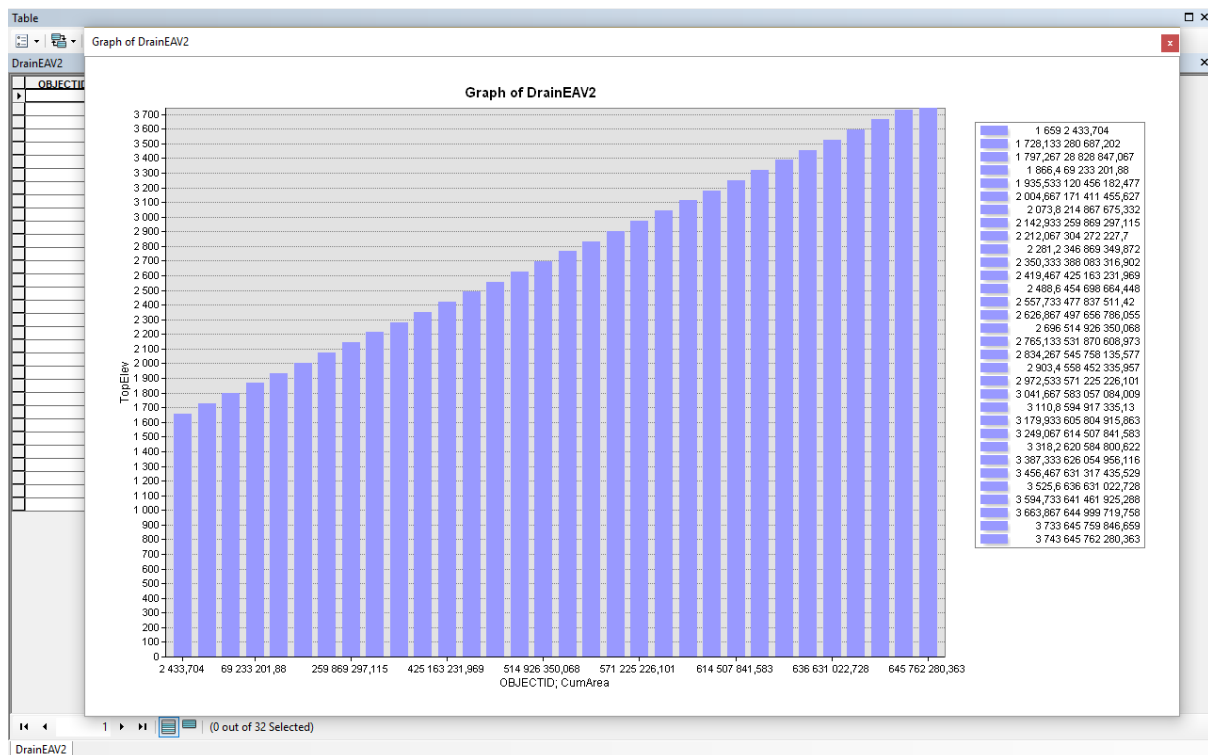
Pour tracer le graphe on utilise :

- **Table Option → Creat Graph Wizard**



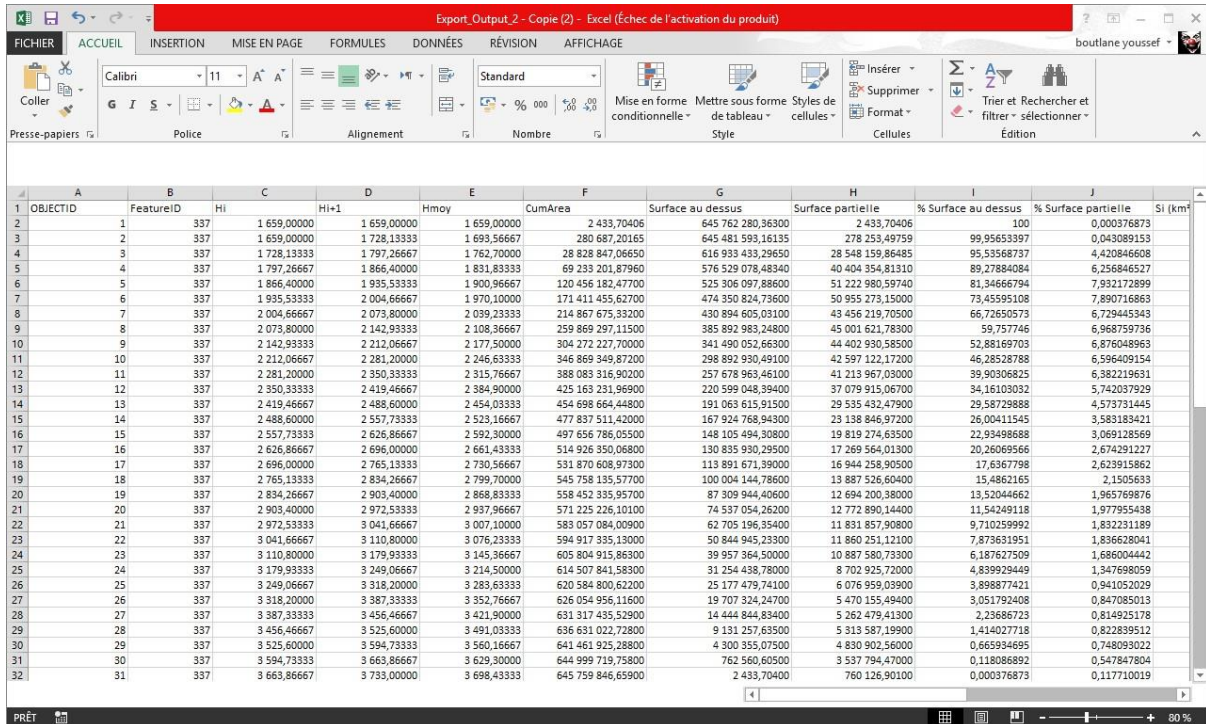


On obtient le résultat suivant :





On exporte par la suite les valeurs du tableau hypsométrique sur l'outil **Microsoft Excel** pour pouvoir effectuer les calculs de surface partielle, surface au-dessus, la hauteur moyenne, la hauteur médiane et le mode.



OBJECTID	FeatureID	HI	HI+1	Hmoy	CumArea	Surface au dessus	Surface partielle	% Surface au dessus	% Surface partielle	Si (km²)
1	337	1 659,00000	1 659,00000	1 659,00000	2 433,70406	645 762 280,36300	2 433,70406	100	0,000376873	
2	337	1 659,00000	1 728,13333	1 693,56667	280 687,20165	645 481 593,16135	278 253,49759	99,95653397	0,043089153	
3	337	1 728,13333	1 797,26667	1 762,70000	28 828 847,06650	616 933 433,29650	28 548 159,86485	95,53568737	4,420846608	
4	337	1 797,26667	1 866,40000	1 831,83333	69 233 201,87960	576 529 078,48340	40 404 354,81310	89,27884084	6,256846527	
5	337	1 866,40000	1 935,53333	1 900,96667	120 456 182,47700	525 306 097,88600	51 222 980,59740	81,34666794	7,932172899	
6	337	1 935,53333	2 004,66667	1 970,10000	171 411 455,62700	474 350 824,73600	50 955 273,15000	73,45595108	7,890716863	
7	337	2 004,66667	2 073,80000	2 039,23333	214 867 675,33200	430 894 605,03100	43 456 219,70500	66,72650573	6,729445343	
8	337	2 073,80000	2 142,93333	2 108,36667	259 869 297,11500	385 892 983,24800	45 001 621,78300	59,757746	6,968759736	
9	337	2 142,93333	2 212,06667	2 177,50000	304 272 227,70000	341 490 052,66300	44 402 930,58500	52,88169703	6,876048963	
10	337	2 212,06667	2 281,20000	2 246,63333	346 869 349,87200	298 892 930,49100	42 597 122,17200	46,28528788	6,596409154	
11	337	2 281,20000	2 350,33333	2 315,76667	388 083 316,90200	257 678 963,46100	41 213 967,03000	39,90306825	6,382219631	
12	337	2 350,33333	2 419,46667	2 384,90000	425 163 231,96900	220 599 048,39400	37 079 915,06700	34,18103032	5,742037929	
13	337	2 419,46667	2 488,60000	2 454,03333	454 698 664,44800	191 063 615,91500	29 535 432,47900	29,58729888	4,573731445	
14	337	2 488,60000	2 557,73333	2 523,16667	477 837 511,42000	167 924 788,94300	23 138 846,97200	26,00411545	3,583183421	
15	337	2 557,73333	2 626,86667	2 592,30000	497 656 786,05500	148 105 494,30800	19 819 274,63500	22,93498688	3,069128569	
16	337	2 626,86667	2 696,00000	2 661,43333	514 926 350,06800	130 835 930,29500	17 269 564,01300	20,26069566	2,674291227	
17	337	2 696,00000	2 765,13333	2 730,56667	531 870 608,97300	113 891 671,39000	16 944 258,90500	17,6367798	2,623915862	
18	337	2 765,13333	2 834,26667	2 799,70000	545 758 135,57700	100 004 144,78600	13 887 526,60400	15,4862165	2,1505633	
19	337	2 834,26667	2 903,40000	2 868,83333	558 452 335,95700	87 309 944,40600	12 694 200,38000	13,52044662	1,965769876	
20	337	2 903,40000	2 972,53333	2 937,96667	571 225 226,10100	74 537 054,26200	12 772 890,14400	11,54249118	1,977955438	
21	337	2 972,53333	3 041,66667	3 007,10000	583 057 084,00900	62 705 196,35400	11 831 857,90800	9,710259992	1,832231189	
22	337	3 041,66667	3 110,80000	3 076,23333	594 917 335,13000	50 844 945,23300	11 860 251,12100	7,873631951	1,836628041	
23	337	3 110,80000	3 179,93333	3 145,36667	605 804 915,86300	39 957 364,50000	10 887 580,73300	6,187627509	1,686004442	
24	337	3 179,93333	3 249,06667	3 214,50000	614 507 841,58300	31 254 438,78000	8 702 925,72000	4,839929449	1,347698059	
25	337	3 249,06667	3 318,20000	3 283,63333	620 584 800,62200	25 177 479,74100	6 076 959,03900	3,898877421	0,941052029	
26	337	3 318,20000	3 387,33333	3 352,76667	626 054 956,11600	19 707 324,24700	5 470 155,49400	3,051792408	0,847085013	
27	337	3 387,33333	3 456,46667	3 421,90000	631 317 435,52900	14 444 844,83400	5 262 479,41300	2,23686723	0,814925178	
28	337	3 456,46667	3 525,60000	3 491,03333	636 631 022,72800	9 131 257,63500	5 313 587,19900	1,414027718	0,822839512	
29	337	3 525,60000	3 594,73333	3 560,16667	641 461 925,28800	4 300 355,07500	4 830 902,56000	0,66594695	0,748093022	
30	337	3 594,73333	3 663,86667	3 629,30000	644 999 719,75800	762 560,60500	3 537 794,47000	0,11808892	0,547847804	
31	337	3 663,86667	3 733,00000	3 698,43333	645 759 846,65900	2 433,70406	760 126,90100	0,000376873	0,117710019	

## Calcul des caractéristiques du bassin

### Caractéristiques physiographiques

Les premières caractéristiques physiques du bassin :

$$A = 645.7622804 \text{ km}^2$$

$$P = 183.4822 \text{ km}$$

$$L = 54.30807644 \text{ km}$$

- Caractéristique de forme

- Indice de compacité de Gravelius

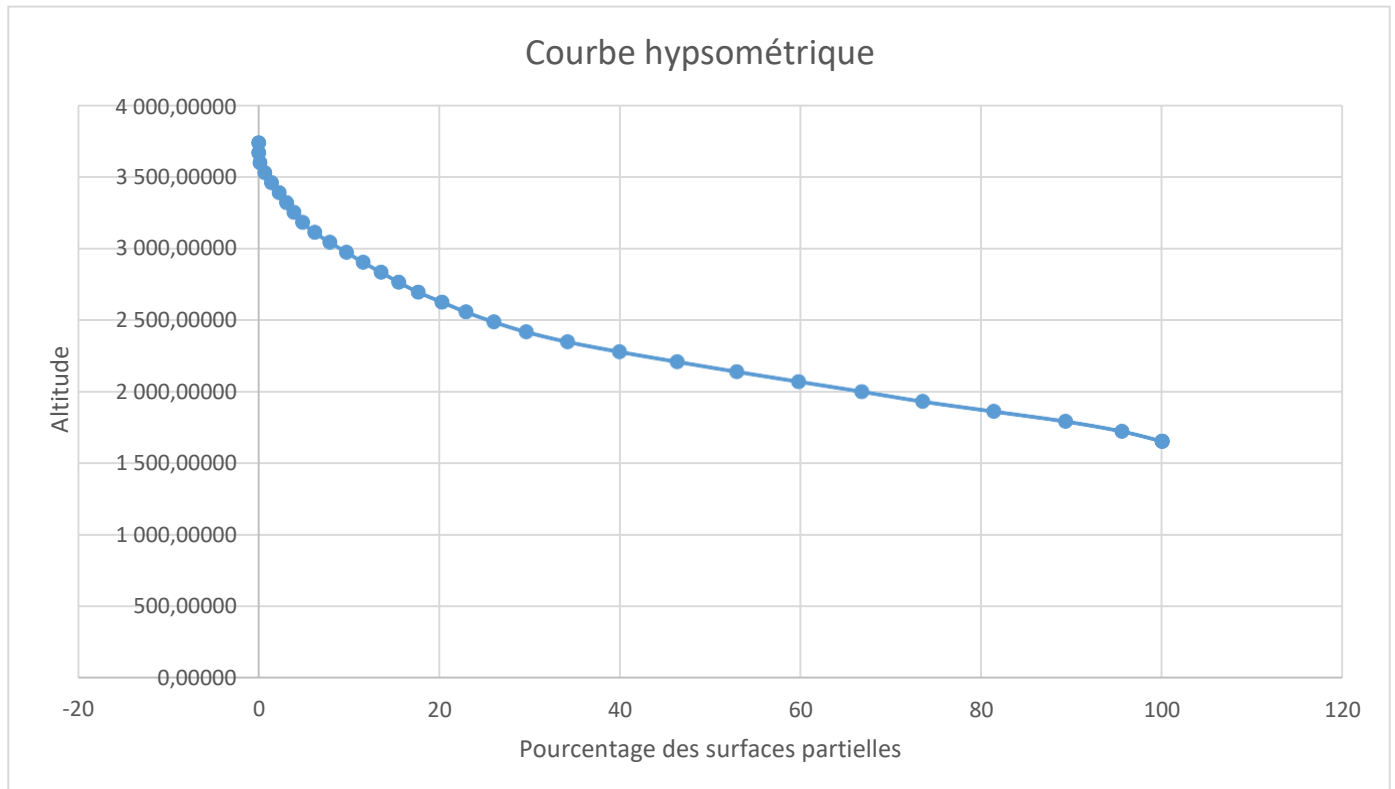
$$K_G = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 2.02169$$

Donc la forme du bassin est : allongée

- Indice de forme de Horton

$$K_H = \frac{A}{L^2} = 0.21895$$

- Les caractéristiques de relief
  - La courbe hypsométrique



- L'altitude moyenne du bassin versant

$$h_{moy} = \frac{1}{A} \sum_i S_i \frac{h_i + h_{i+1}}{2} = 2430.8338 \text{ m}$$

- L'altitude médiane

$$h_{50\%} = 2276.8348 \text{ m}$$

- L'altitude minimale

$$h_{min} = 1659 \text{ m}$$

- L'altitude maximale

$$h_{max} = 3733 \text{ m}$$

- Le mode

La classe modale est : [1866.4; 1935.53333] donc

$$mode = 1900.96667 \text{ m}$$



- Le rectangle équivalent

$$L_{eq} = \frac{K_G \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12^2}{K_G} \right)} \right] = 84.05859 \text{ km}$$

$$l_{eq} = \frac{K_G \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12^2}{K_G} \right)} \right] = 7.682288 \text{ km}$$



- Les indices de pentes

- La pente moyenne du bassin

$$Pente_{moy} = 2 \frac{h_{moy}}{L} = 89.52 \text{ m/km}$$

- Indice de pente de roche

$$I_r = \frac{1}{\sqrt{L_{eq_i}}} \sum \sqrt{S_i(h_{i+1} - h_i)} = 14.3166 \%$$

- Indice de pente globale

$$I_g = \frac{D_u}{L_{eq}} = \frac{h_{5\%} - h_{95\%}}{L_{eq}} = \frac{3200 - 1720}{L_{eq}} = 17.60676 \text{ m/km}$$

Donc c'est une zone à ondulation du terrain

- Indice de pente classique

$$I_{classique} = \frac{h_{max} - h_{min}}{L_{eq}} = 24.67326 \text{ m/km}$$

- La dénivelée spécifique

$$D_s = I_g \sqrt{A} = 447.42 \text{ m}$$

Donc le type de relief est R7

### Caractéristiques du réseau de drainage

- Ordre du cours d'eau

L'ordre du bassin est

$$n = 11$$

- Le rapport de confluence ou de bifurcation

	OBJECTID *	Value	Count
▶	1	1	854745
	2	2	274798
	3	3	103926
	4	4	512927
	5	5	264628
	6	6	119135
	7	7	56479
	8	8	26571
	9	9	13864
	10	10	7839
	11	11	1687

$$R_c = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{N_i}{N} = 2.26836$$

La pente moyenne du cours d'eau principal

$$I_{moy} = \frac{\Delta H_{max}}{L} = 38.18953 \text{ m/km}$$

Calcul de temps de concentration

- Formule de Turrazza

$$t_c = \frac{0.108}{\sqrt{I}} \sqrt[3]{AL} = 18.173 \text{ h}$$

- Formule de Kiripich

$$t_c = 0.945 \frac{L^{1.155}}{D^{0.385}} = 5.03766 \text{ h}$$

- Formule de Ventura

$$t_c = 0.1272 \sqrt{\frac{\bar{A}}{I}} = 16.5406 \text{ h}$$

- Méthode espagnole

$$t_c = 0.3 \frac{L^{0.77}}{D^{0.1925}} = 8.0809 \text{ h}$$

- Formule de Van Te Cho

$$t_c = 0.123 \left( \frac{L}{I^{0.5}} \right)^{0.64} = 0.5 \text{ h}$$

## Conclusion

Ce mini-projet était pour nous l'occasion de comprendre et d'appliquer la délimitation et l'étude d'un bassin versant qu'on a vue au cours à l'aide d'un outil SIG qui est ArcGIS. Et pour cela on a commencé par la définition puis l'application d'un nouveau système de projection sur le MNT téléchargé, une délimitation du bassin versant et détermination de l'exutoire, la détermination du cours d'eau principal, l'ordre de chevelu et enfin le calcul des différentes caractéristiques du bassin (de forme, de relief, du cours d'eau).

Ce mini-projet nous a permis aussi de se familiariser plus avec l'outil ArcGIS et de découvrir de nouveaux outils. Et malgré quelques difficultés rencontrées, on a pu les dépasser grâce à un bon travail d'équipe.