

2. Le modèle EPM à l'aide du logiciel ArcGIS

2.1. Introduction

Le modèle EPM "Erosion Potential Method" de Gavrilovic a été conçu dans les années 50 par Gavrilovic pour des bassins versants d'Ex-Yougoslavie. La méthode a été développée pour la prédiction des taux d'érosion annuel des sols d'un ensemble de type d'érosion (érosion en nappes, érosion en rigoles et en ravins et sapement de berges) pour la gestion des pratiques de lutte contre l'érosion. Il se base sur la cartographie et la combinaison de six paramètres qui sont :

- La pente.
- La sensibilité des sols à l'érosion.
- L'état érosif, la protection des sols.
- La température et les précipitations.

L'application du modèle de Gavrilovic a nécessité la cartographie et l'intégration dans un SIG de tous les paramètres nécessaires à l'application du modèle empirique et l'utilisation des techniques d'analyse spatiale pour évaluer les pertes en sols et estimer le poids de chaque facteur et de leurs effets combinés d'une part et de démêler leur interdépendance d'autre part. Les paramètres utilisés ont été étudiés grâce à la télédétection et aux données collectées sur le terrain puis intégrés dans le SIG. Ces paramètres sont :

A- Les facteurs permanents de l'érosion hydrique sont :

- La sensibilité à l'érosion,
- La pente et l'état érosif.

B- Les facteurs dynamiques sont :

- Les précipitations,
- Les températures.
- L'utilisation des sols.

C- Les processus et formes de l'érosion réelle et leur hiérarchisation en fonction du degré du risque.

2.2. La méthodologie

Le volume annuel moyen des sédiments érodés désigné par la lettre (W) est déterminé de la manière suivante :

$$W = T * H * \pi * \sqrt{Z^3}$$

Où :

W : volume annuel moyen des sédiments érodés (m³/km²/an)

T : Coefficient de la température

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10} + 0.1}$$

Avec :

t_0 : Température moyenne annuelle en (C°)

H : Précipitation moyenne annuelle en (mm)

Z : Coefficient d'érosion

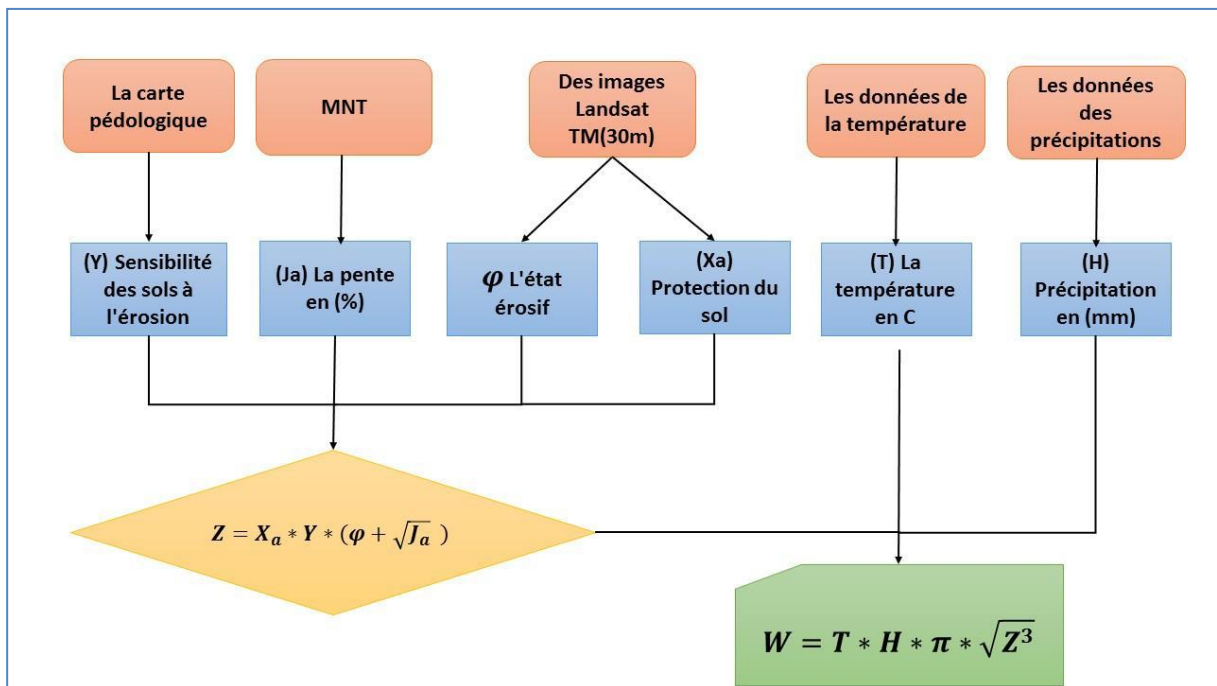
$$Z = X_a * Y * (\varphi + \sqrt{J_a})$$

X_a : Coefficient de protection du sol du bassin versant, se rapportant à la protection des sols par la couverture végétale, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles.

Y : Coefficient d'érosion du sol, indique la sensibilité des sols à l'érosion dépend de la géologie du bassin versant

φ : Coefficient de type et d'étendue de l'érosion équivalent numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant

J_a : Pente moyenne de la zone d'étude en (%)



Organigramme du modèle Gavrilovic « EPM » *Baali. S.2018*

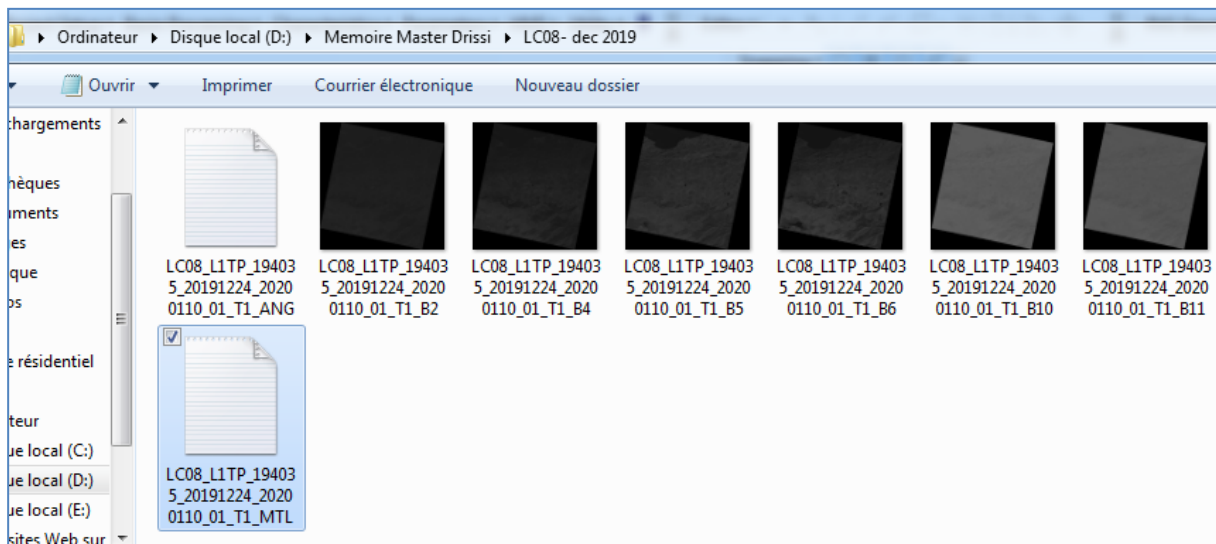
2.3. Coefficient de température T en °C

La température est un facteur d'érosion très important dans ce modèle, car elle a un effet évident sur l'eau dans le sol. La température maximale permet d'augmenter l'évaporation et la transpiration et conduit à l'apparition des fissures qui permettent de démanteler les formations argileuses en particulier, et les variations thermiques successives permettent le démantèlement des composants des roches et des formations de surface.

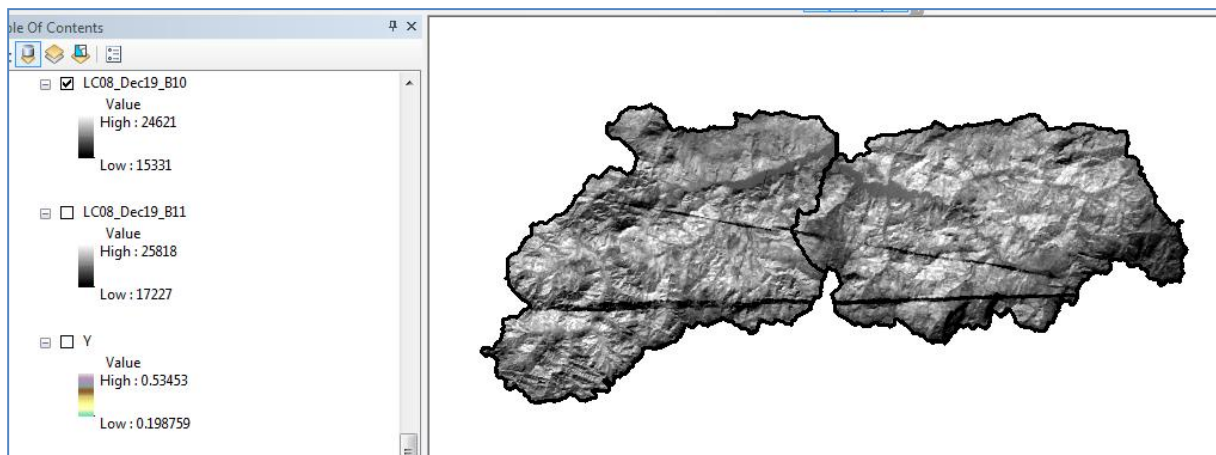
$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10} + 0.1}$$

t_0 : Température moyenne annuelle en (C°)

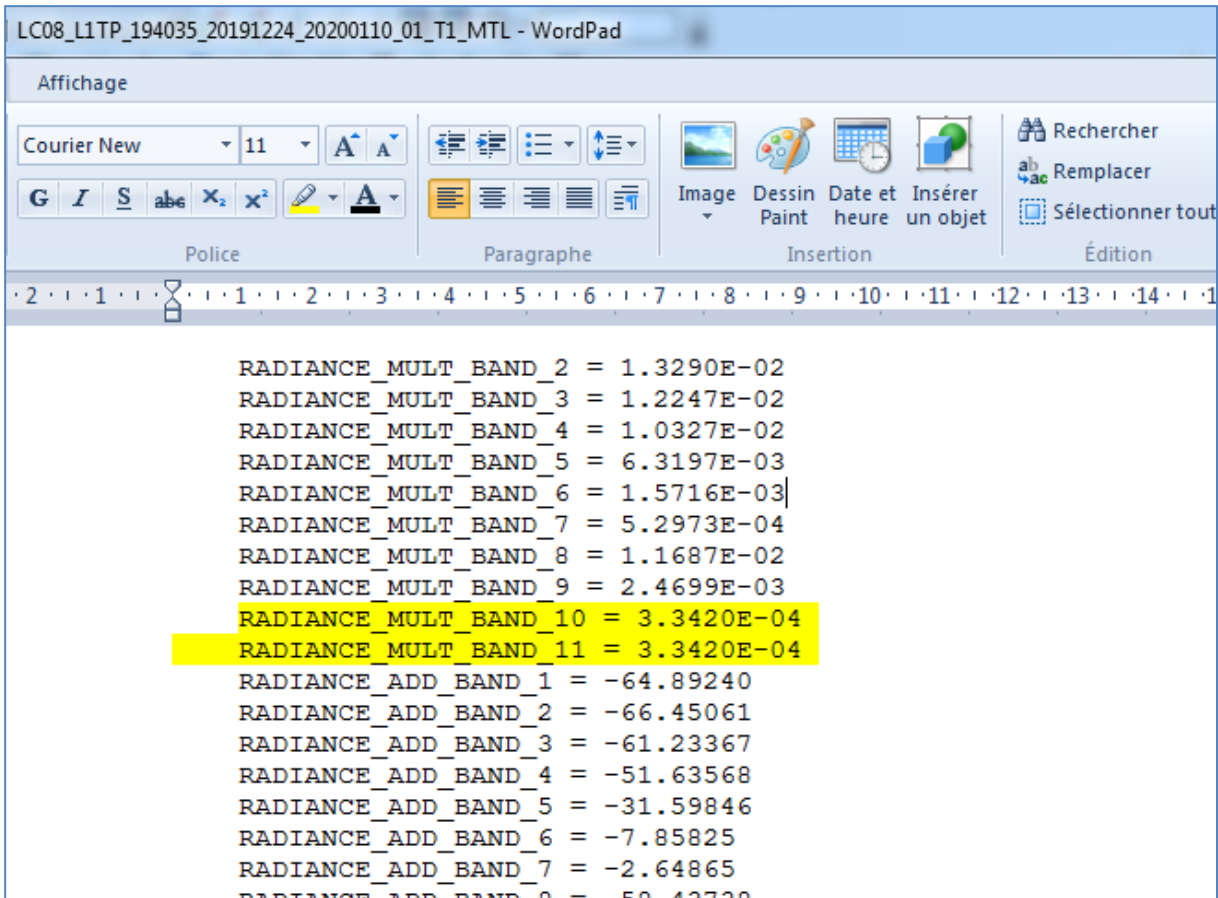
Nous avons besoins de deux cartes satellitaires band 10 et band 11 et le fichier texte MTL pour les images satellitaires landsat 08 et band 6 pour les images satellitaires landsat TM 5 et 07.



Ouvrir arc map - band 10



Ouvrir le fichier texte MTL



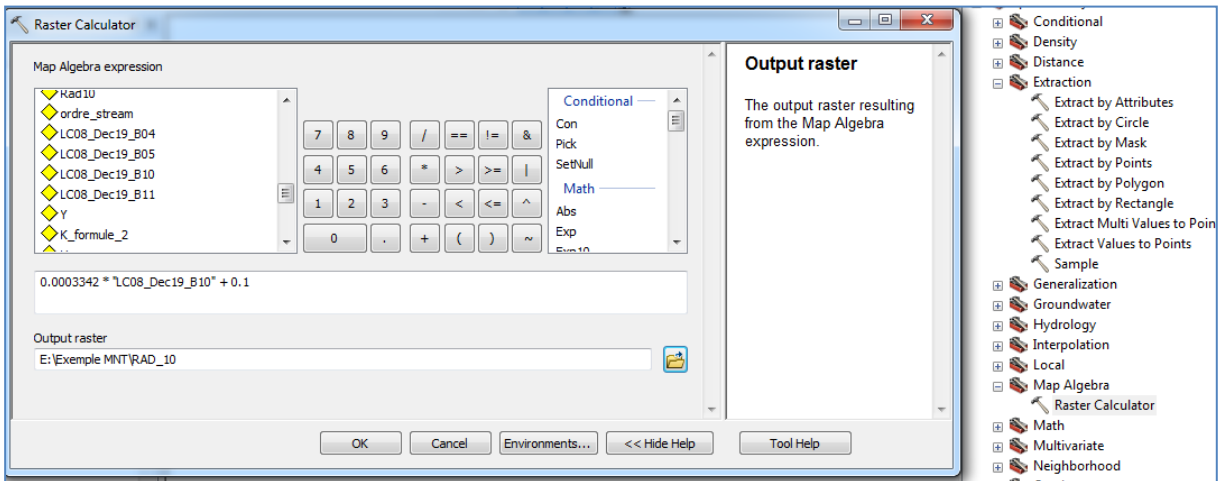
- radiance multi bande 10= 0.000334

- Radiance add band 10= 0.1000

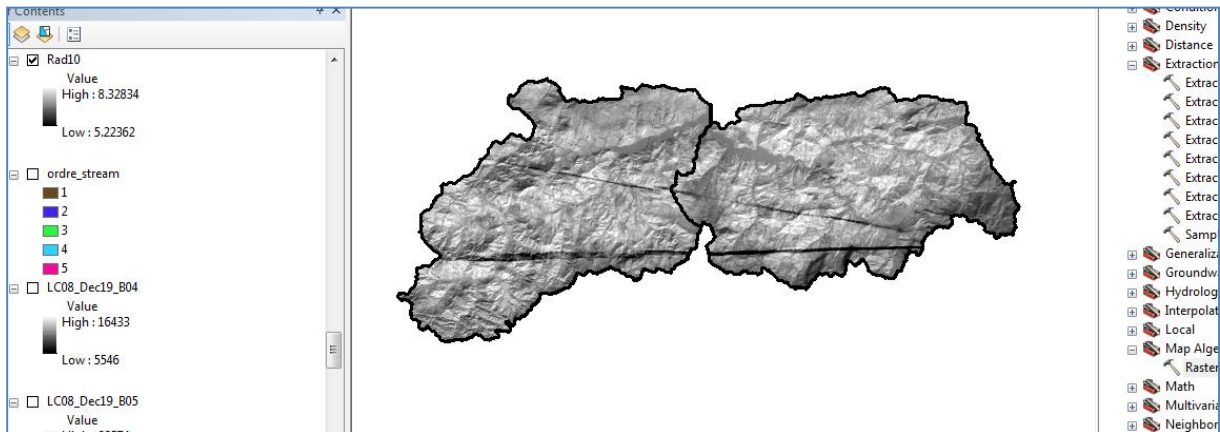
Spatial analyst tools – map algebra – raster calculator – ouvrir

RADIANCE MULTI BAND 10 x BAND 10 + RADIANCE ADD BAND 10

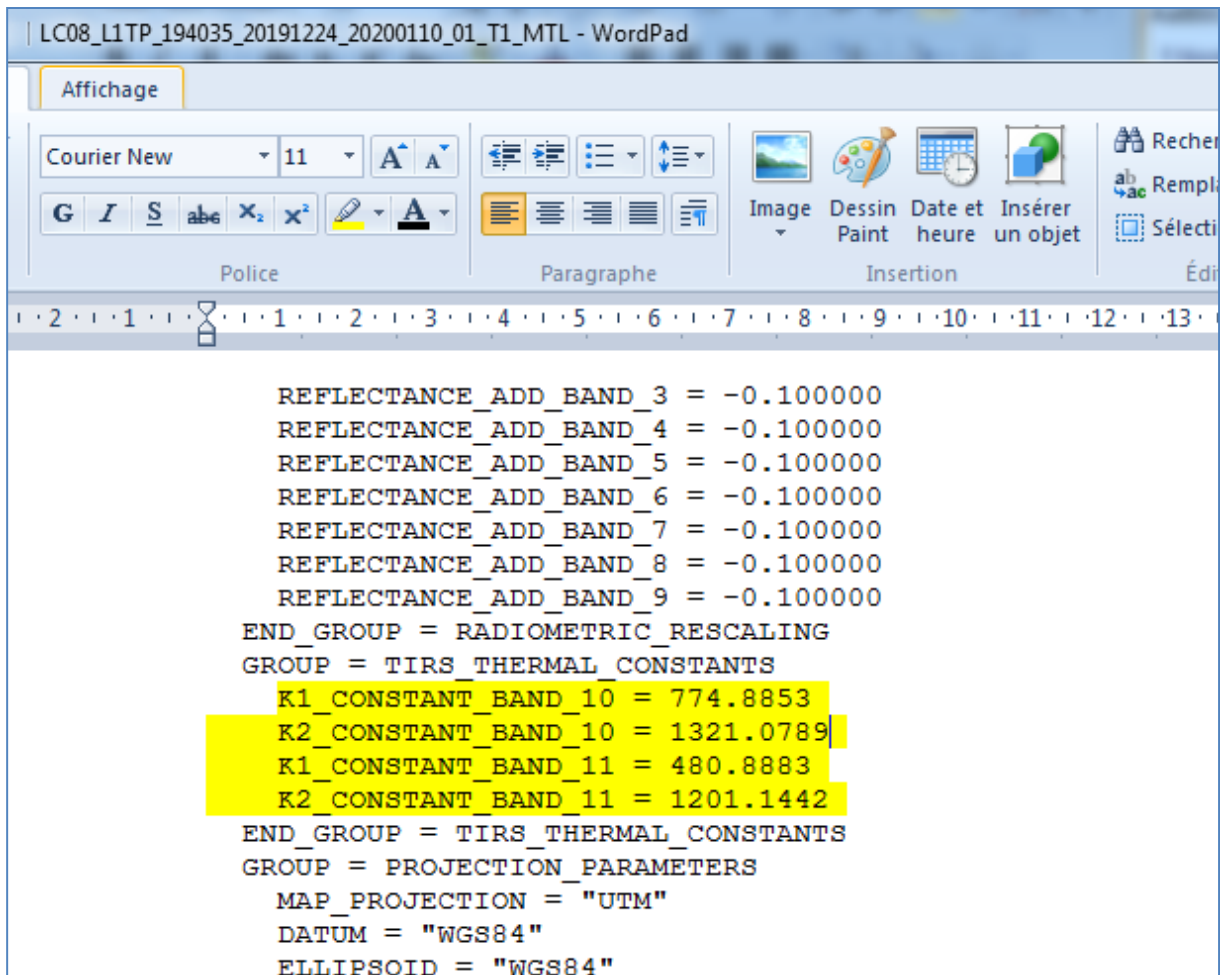
0.000334 x BAND 10 + 0.1



OK



FICHER TEXTE



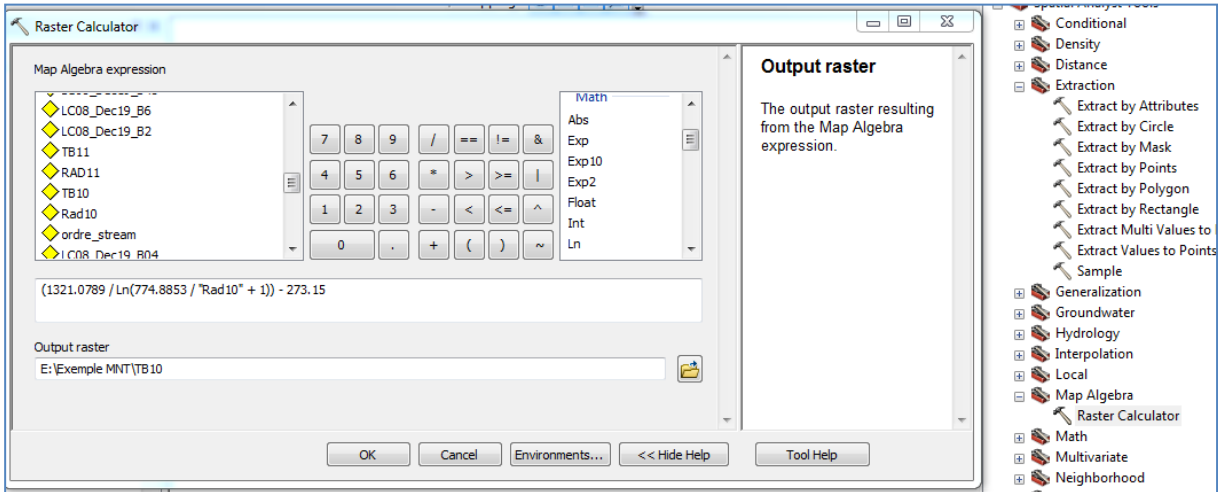
K1 CONSTANT BAND 10 = 774.8863

K2 CONSTANT BAND 10 = 1321.0789

Spatial analyst tools – map algebra – raster calculator – ouvrir

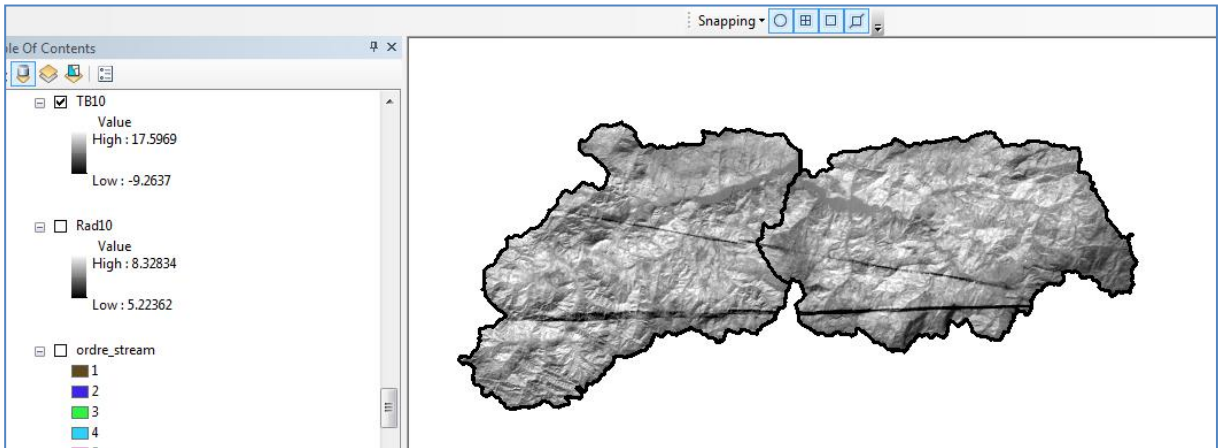
TB= CONSTANT BAND 10/Ln (CONSTANT BAND 10/(Rad10+1))-273.15

$$= (1321.0789 / \ln(774.8853 / \text{RAD10} + 1)) - 273.15$$



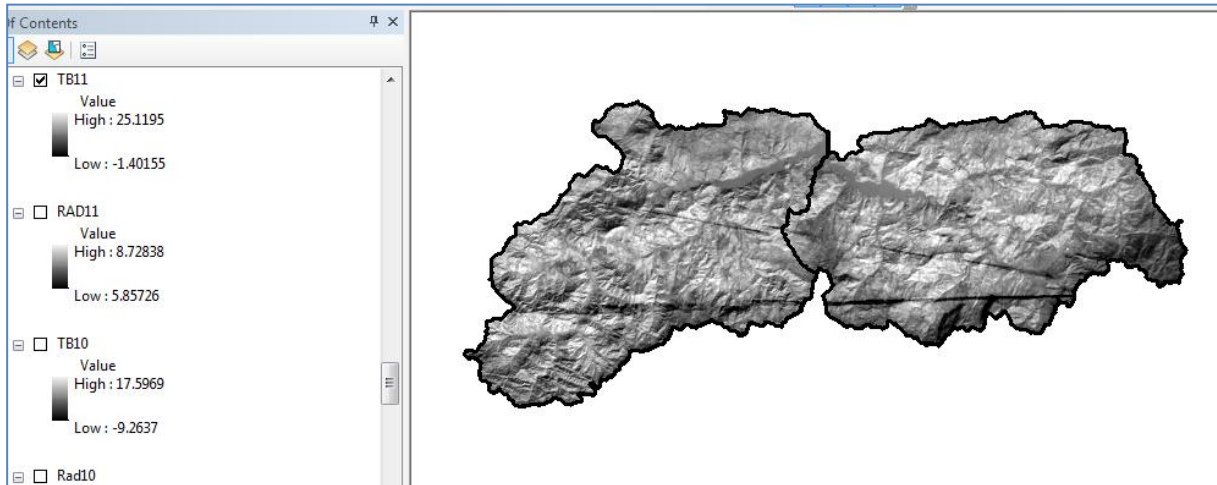
OK

TB10



Remarque : Les mêmes procédures pour la band 11

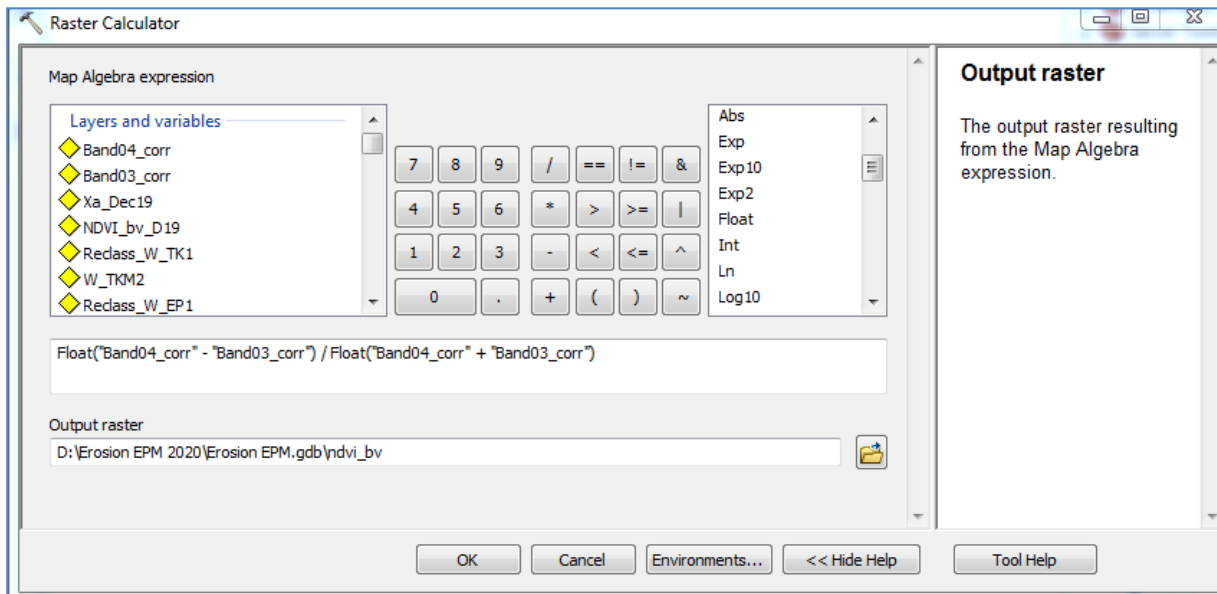
Le résultat TB11



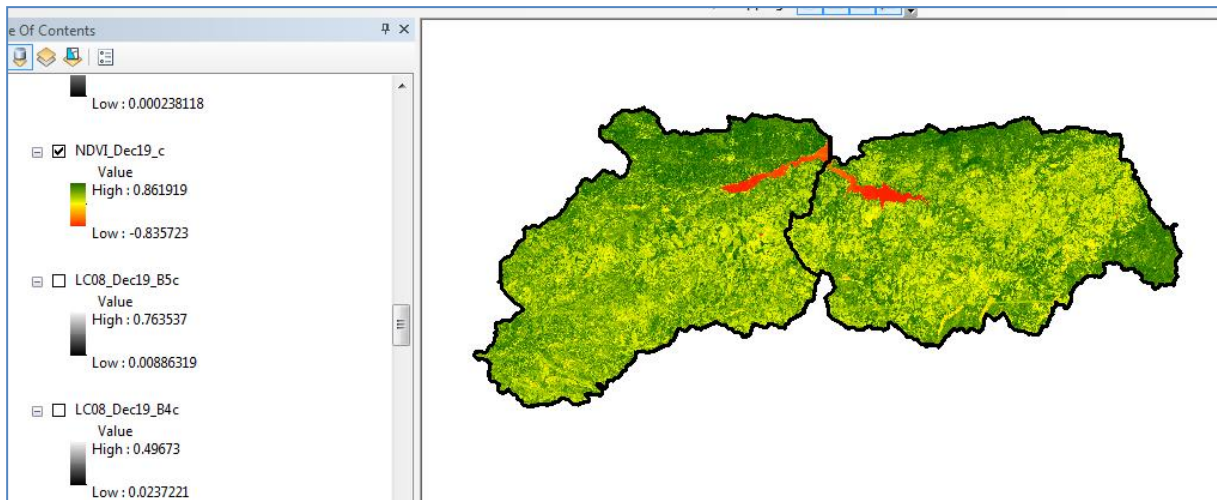
Calcul de NDVI

$NDVI = \frac{\text{band4} - \text{band3}}{\text{band4} + \text{band3}}$ pour Landsat TM5

$NDVI = \frac{\text{band5} - \text{band4}}{\text{band5} + \text{band4}}$ pour landsat LC08

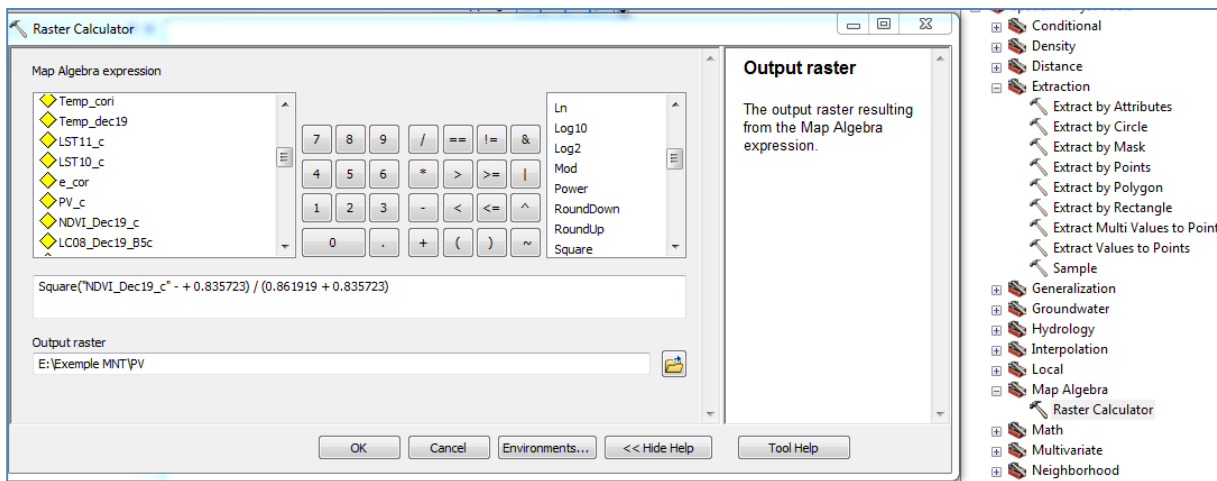


Ok

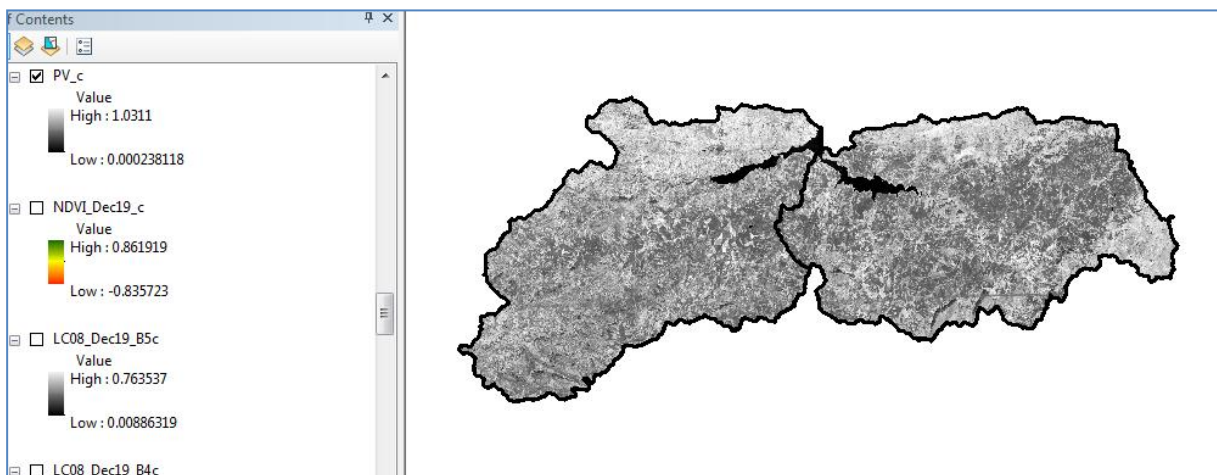


Spatial analyst tools – map algebra – raster calculator – ouvrir

$$PV = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2$$

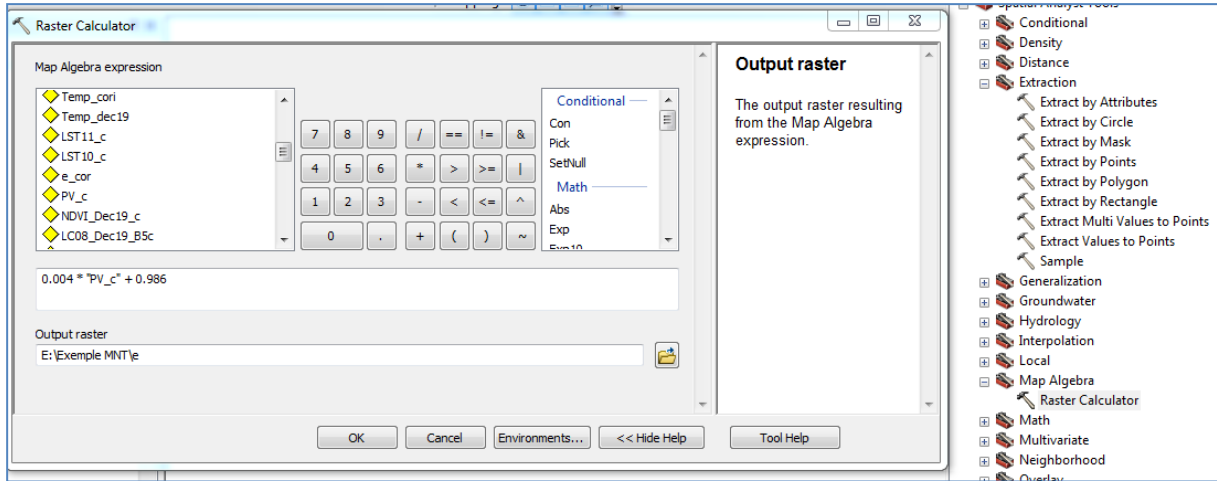


ok

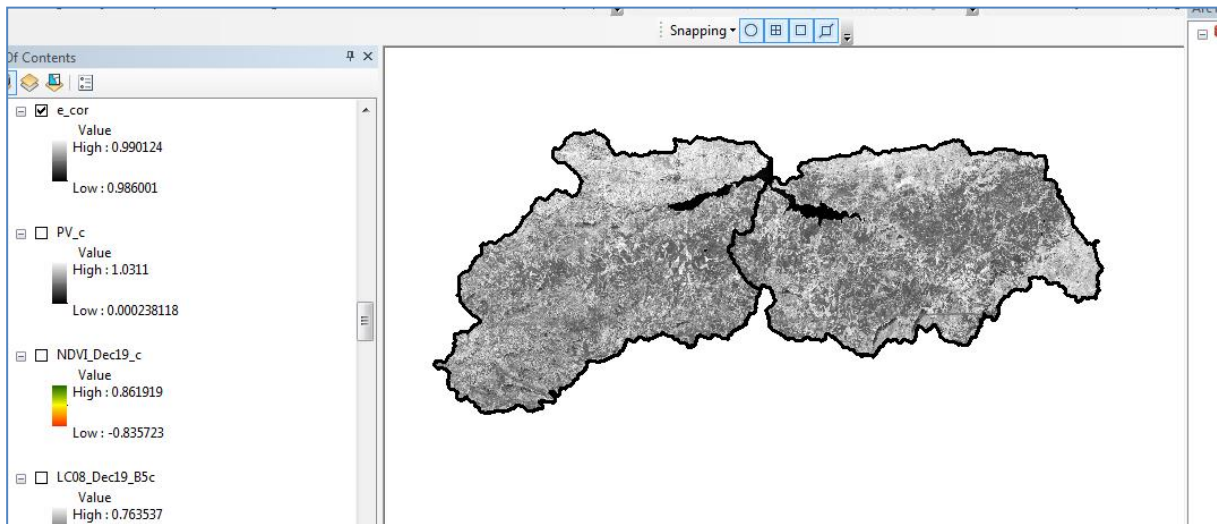


Spatial analyst tools – map algebra – raster calculator – ouvrir

$$E = 0.004 * PV + 0.986$$



OK



Spatial analyst tools – map algebra – raster calculator – ouvrir

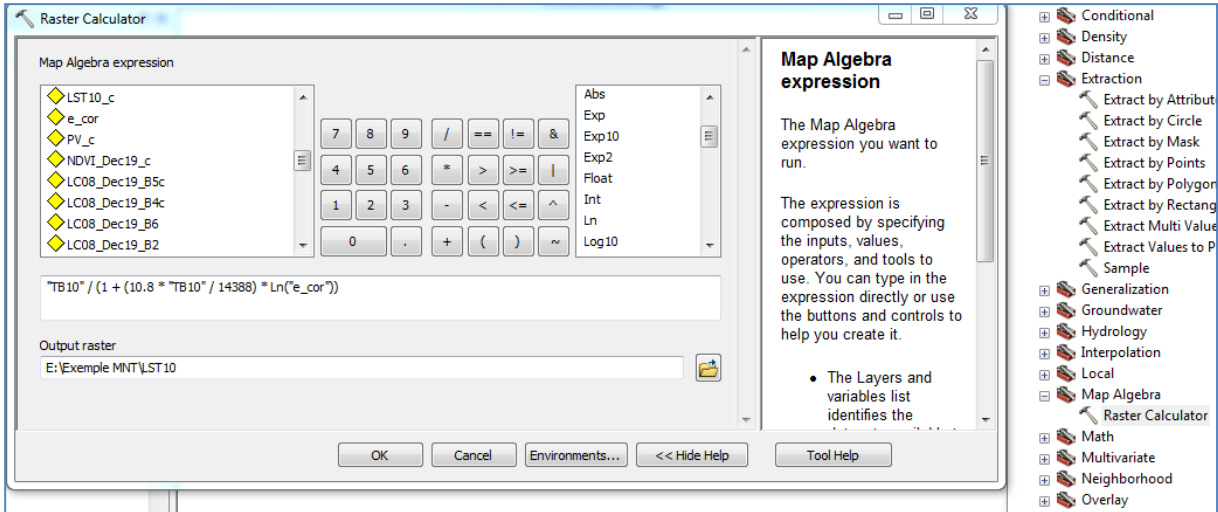
$$T = TB / (1 + (\lambda * TB / C2) * \ln(e))$$

$\lambda = 10.8$ pour landsat 8 band 10 Et 12 pour band 11

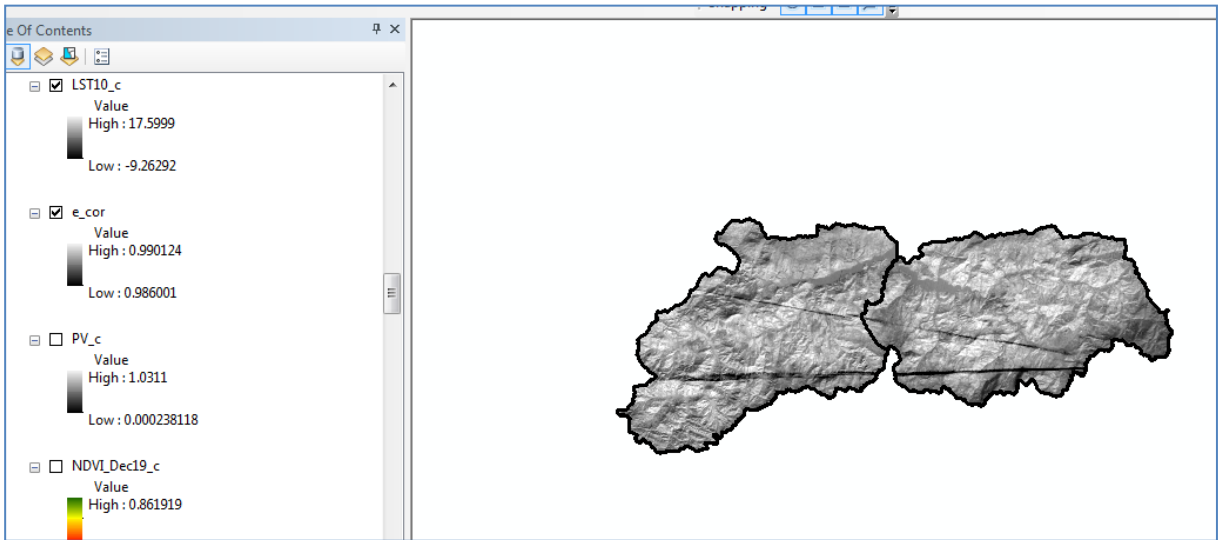
$$C2 = 14388$$

$$"TB10" / (1 + (10.8 * "TB10" / 14388) * \ln("e_cor"))$$

Output: LST10

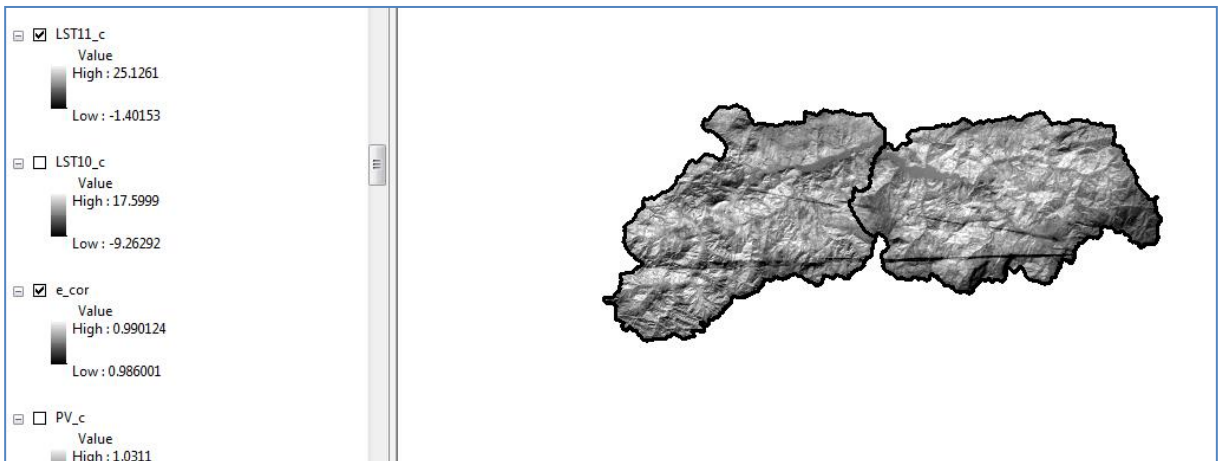


ok



Les mêmes procédures pour l'image satellitaire band 11

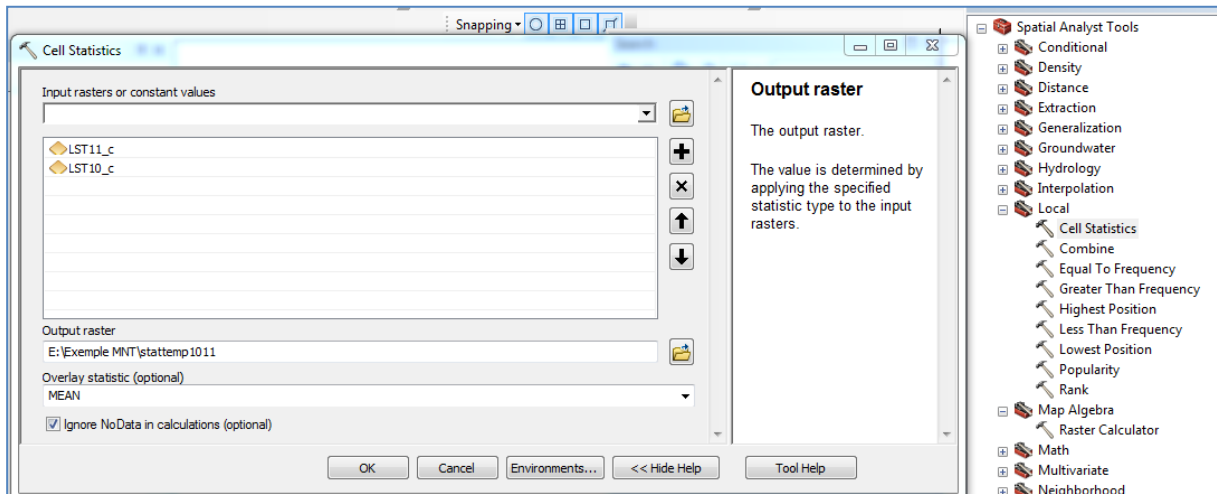
LST11



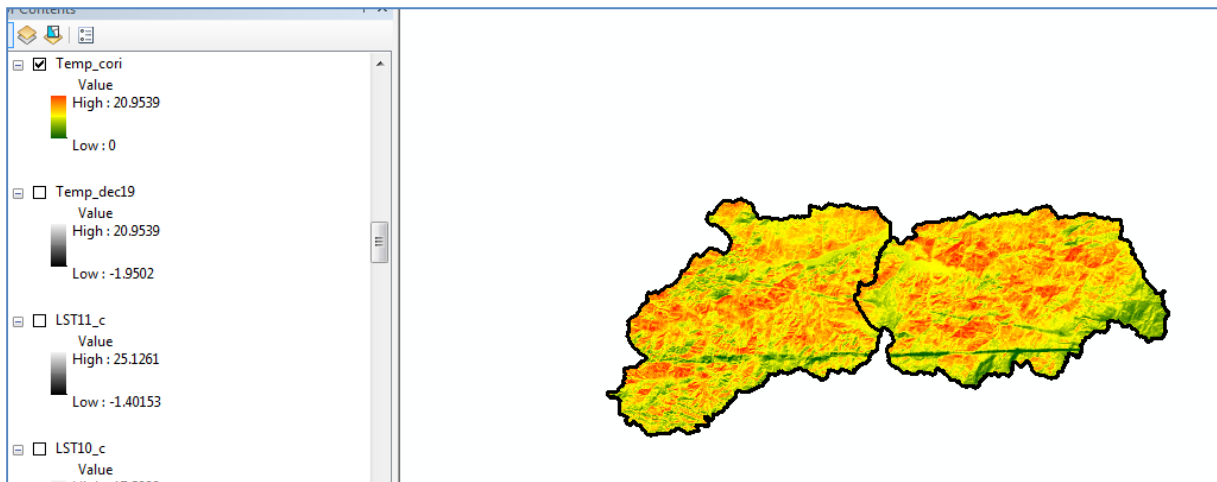
Spatial analyst tools – local – cell statistics -ok

INPUT: LST10 LST11

OUTPUT: STATEMP1011

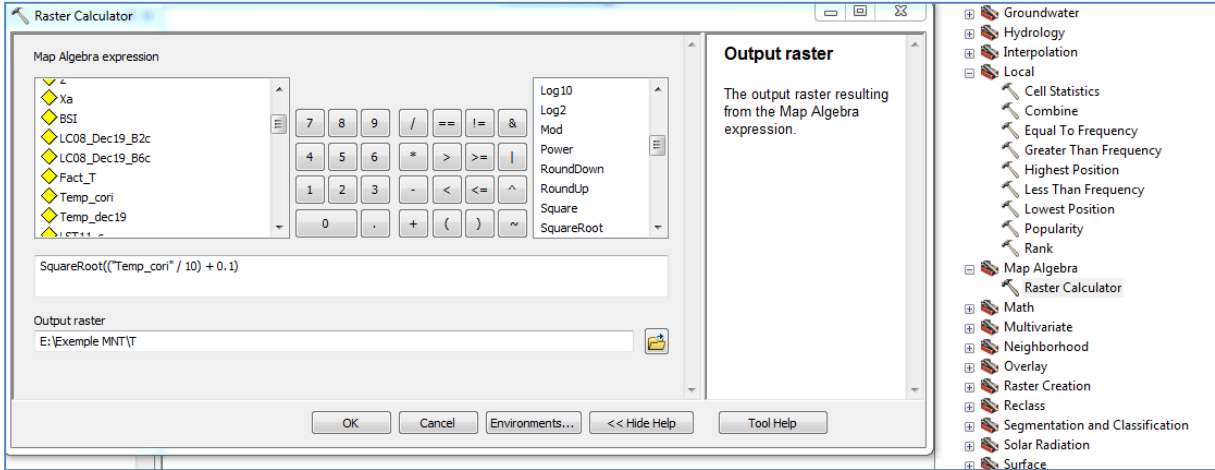


OK

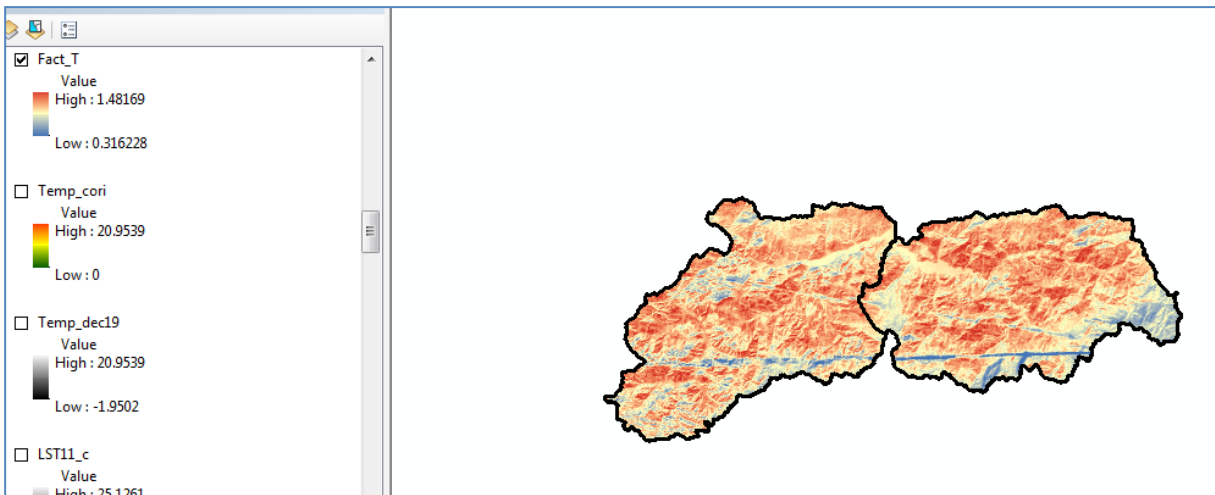


Spatial analyst tools – map algebra – raster calculator

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10} + 0.1}$$



Ok



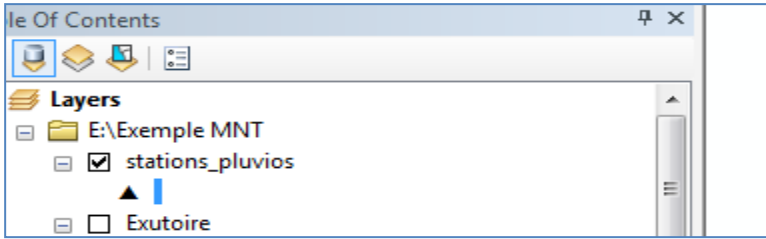
2.4. Facteur Précipitation moyenne annuelle H

La précipitation joue le premier rôle dans la provocation de l'érosion hydrique, en commençant par les gouttes de pluie qui ont frappé la surface et l'écoulement superficiel et en fin le drainage principal dans les cours d'eau principales.

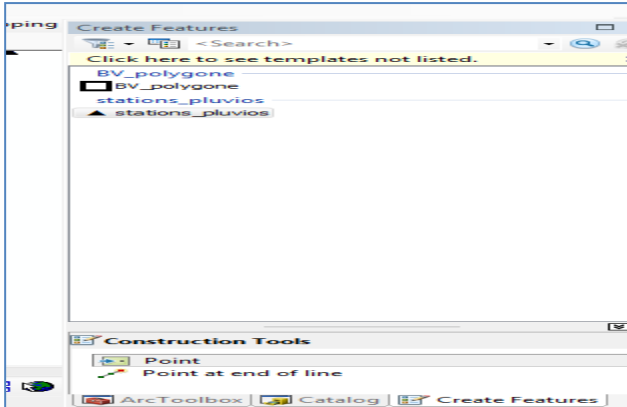
En plus les orages soudains qui érode des grandes quantités de sol, en particulier les zones ont une pente importante et dans le cas d'absence de la couverture végétale et l'exploitation excessive de la terre.

2.4.1. Implantation des stations pluviométriques

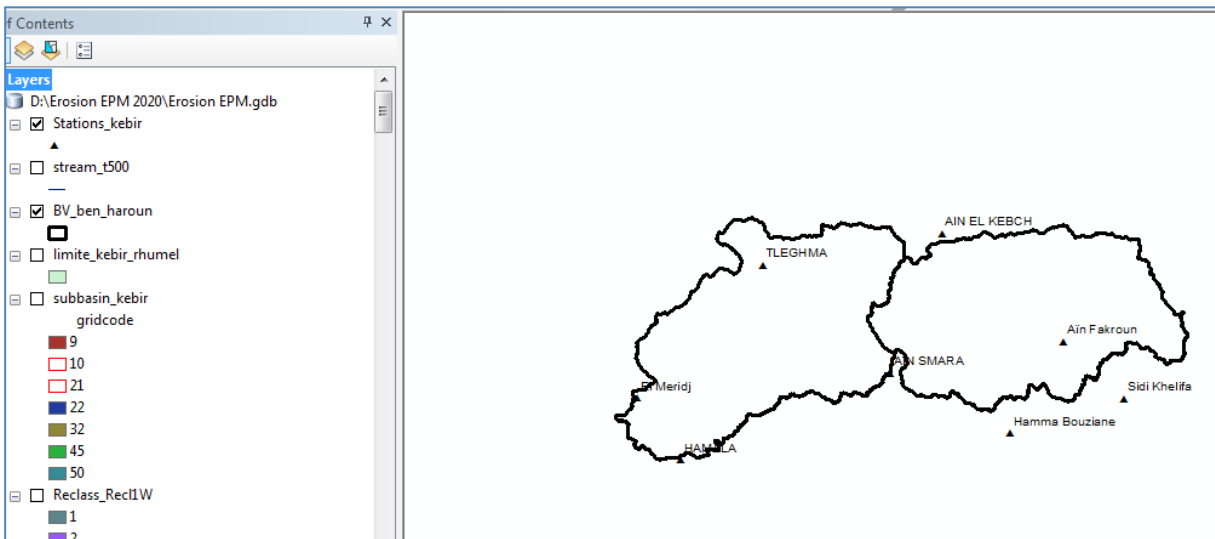
Arc catalogue – cliquer à droite sur le dossier – new – shapfile – point – renommé : stations_pluvios – edit : système de coordonnées : utm zone 31 - ok



Cliquer à droite sur station_pluvios puis edit feature – start editing –ok



Cliquer sur stations pluvios – point pour planter les stations pluviométriques

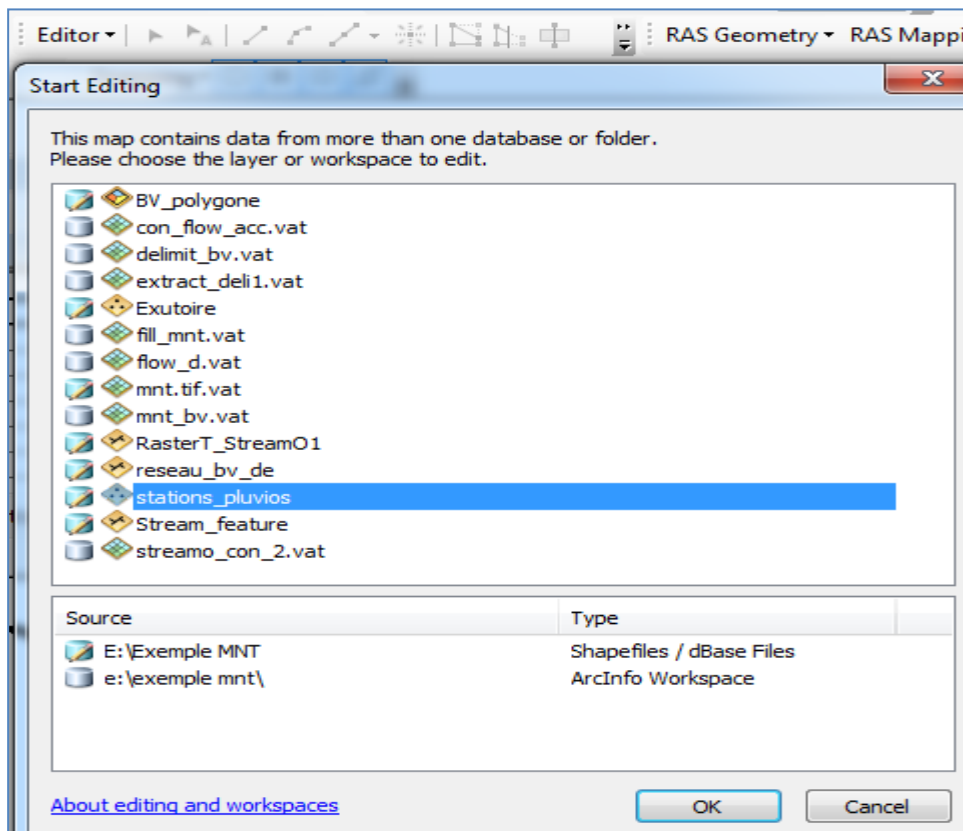


2.4.2. Introduire les valeurs de H pour chaque station pluviométrique

Cliquer à droite sur le nom : stations_pluvios – table attributaire - add field – (ajouter colonne H)

OBJECTID_1*	Shape*	OBJECTID	stationANR	X	Y	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUIL	OUT	SEP	OCT	VEV	DEC	Pannuel
1	Point	1	AIN EL KEBCH	262091.32	4050810.75	171	132	97	78	66	26	5	12	43	82	117	163	992
2	Point	2	TLEGHMA	232841.9	4045616.91	136	102	76	65	54	21	4	10	37	65	86	121	777
3	Point	3	Ain Fakroun	281922.97	4023083.45	109	85	71	58	55	22	5	9	35	59	75	102	685
4	Point	4	AIN SMARA	253584.09	4027932.3	127	105	83	65	62	28	6	12	37	62	90	118	795
5	Point	5	Ei Meridj	212181.919	4023883.183	117	94	68	61	52	24	6	12	39	49	78	105	705
6	Point	6	Sidi Khelifa	291908.21	4023773.37	97	79	71	57	54	24	5	11	35	54	70	95	652
7	Point	7	Hamma Bouziane	273233.27	4018110.65	81	68	64	55	50	24	7	10	33	49	66	79	586
8	Point	8	HAMALA	219320.131	4013709.457	100	82	68	57	53	27	8	14	41	48	75	95	668

Editor – start editing – stations_pluvios



Ok

Puis editor – save editing – stop editing

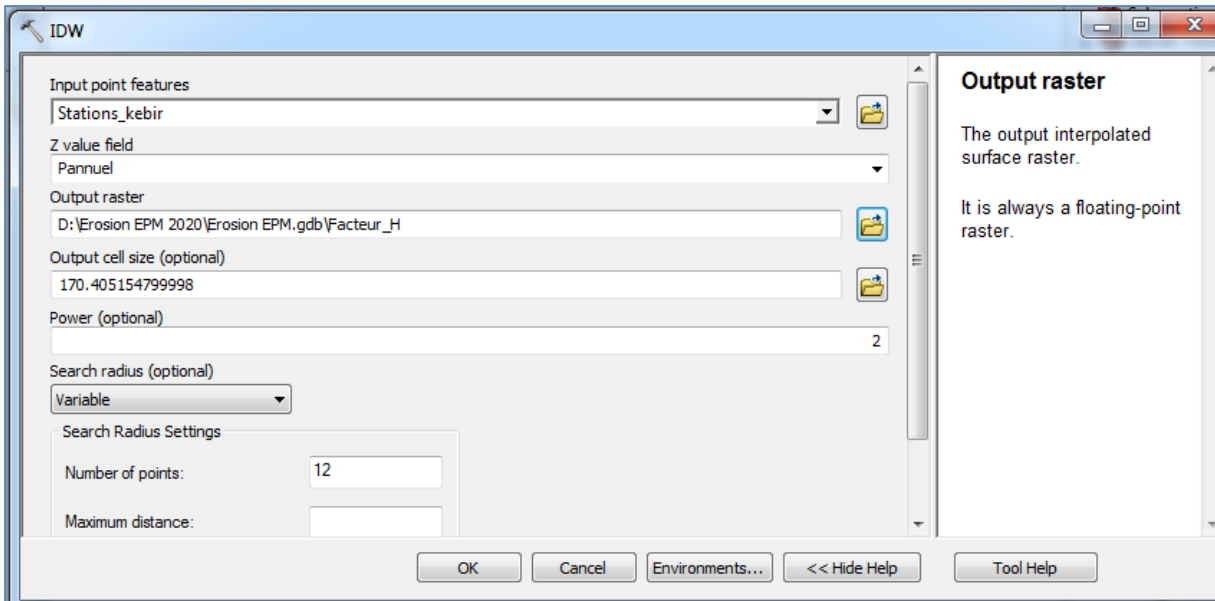
	AVR	MAI	JUN	JUIL	OUT	SEP	OCT	VEV	DEC	Pannuel
	78	66	26	5	12	43	82	117	163	992
	65	54	21	4	10	37	65	86	121	777
	58	55	22	5	9	35	59	75	102	685
	65	62	28	6	12	37	62	90	118	795
	61	52	24	6	12	39	49	78	105	705
	57	54	24	5	11	35	54	70	95	652
	55	50	24	7	10	33	49	66	79	586
	57	53	27	8	14	41	48	75	95	668

Spatial analyst tools – interpolation – IDW

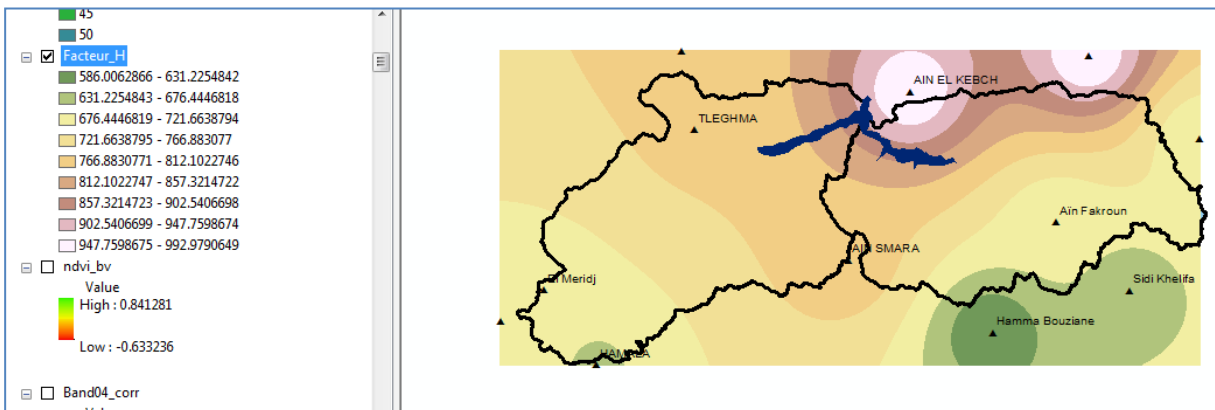
Input: stations_pluvios

Z: H

Output: Facteur_H



Ok

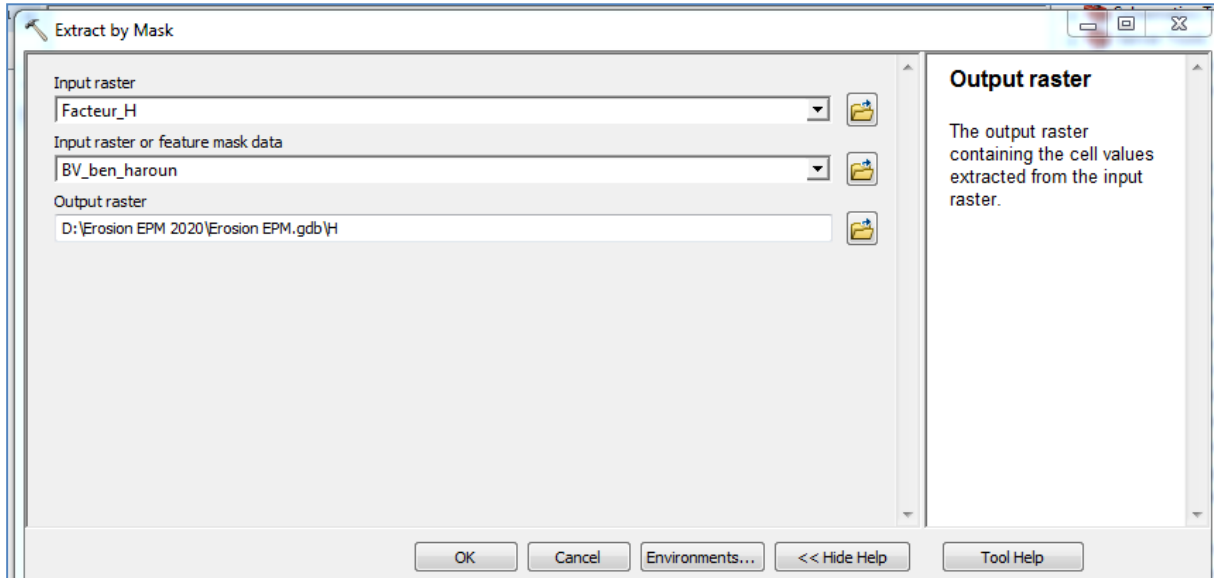


Spatial analyst tools - Extraction - Extract by mask

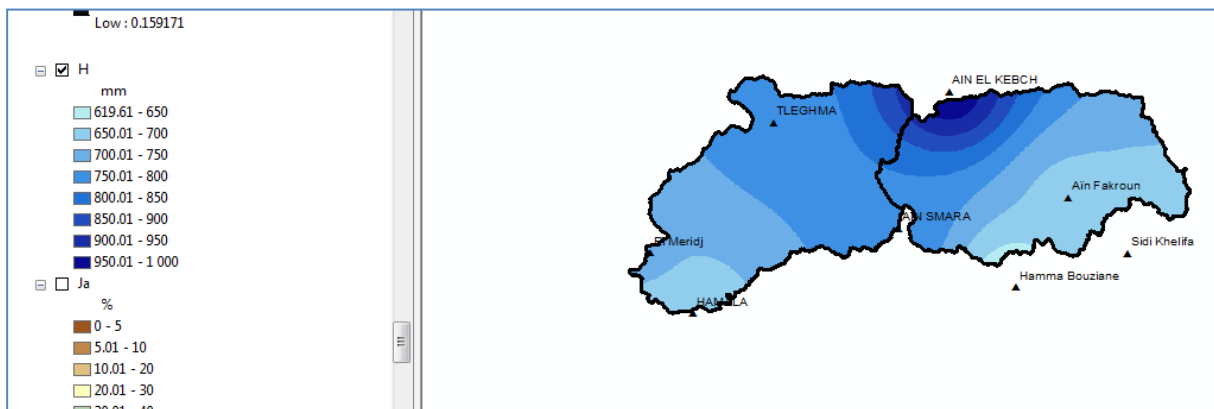
Input: facteur_H

Input raster or feature mask data : BV_polygon

Output: H



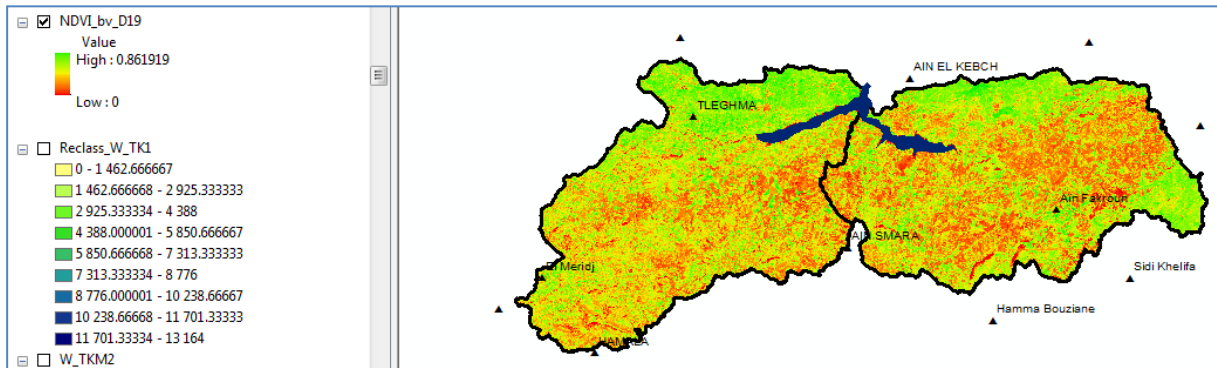
Ok



2.5. Le coefficient de protection du sol (Xa)

Le coefficient de protection du sol (Xa) liée directement à la couverture végétation qui joue un rôle important dans la réduction de l'érosion en protégeant le sol pendant les pluies et l'augmentation de la perméabilité du sol. L'indice de couverture végétale est lié au type d'arbres, d'arbustes et des herbes ainsi de leur hauteur et à leur densité. Dans les terres cultivées, plantées ou pâturées, la couverture varie selon les variétés cultivées, le cycle agricole, ainsi que la quantité et la qualité des résidus végétaux après la récolte. L'état de surface varie selon les saisons et les travaux agricoles, car il y a des étapes où le sol est plus sensible à l'érosion et d'autres qui sont protégés par un couvert végétal dense.

NDVI



NDVI varie entre 0 et 0.86 dans l'exemple ci-dessus et X_a varie théoriquement entre 0.05 et 1

A	B
NDVI	X_a
0	1
0.86	0.05

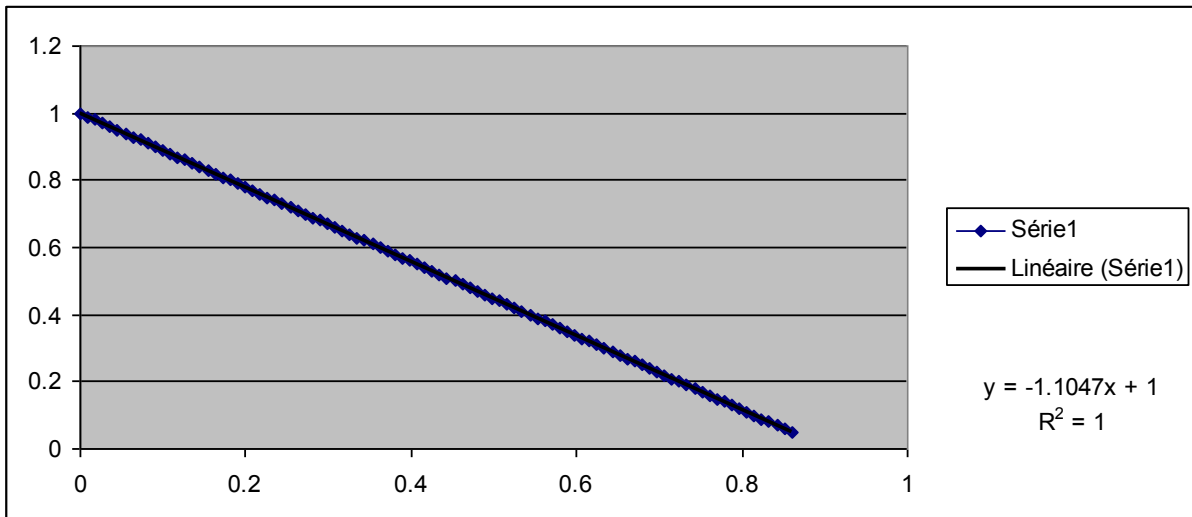
Nous cherchons la relation entre NDVI et X_a

Pas de variation de X_a de 0.01

Pas de variation de NDVI = $((0.86-0)/(1-0.05))/100$

Le résultat dans le tableau suivant :

C	D
NDVI	Xa
0	1
0.01	0.99
0.02	0.98
0.03	0.97
0.04	0.96
0.05	0.95
0.05	0.94
0.06	0.93
0.07	0.92
0.08	0.91
0.09	0.90
0.10	0.89
0.11	0.88
0.29	0.68
0.43	0.53
0.43	0.52
0.44	0.51
0.45	0.50
0.46	0.49
0.47	0.48
0.48	0.47
0.49	0.46
0.66	0.27
0.67	0.26
0.68	0.25
0.69	0.24
0.70	0.23
0.81	0.11
0.84	0.07
0.85	0.06
0.86	0.05

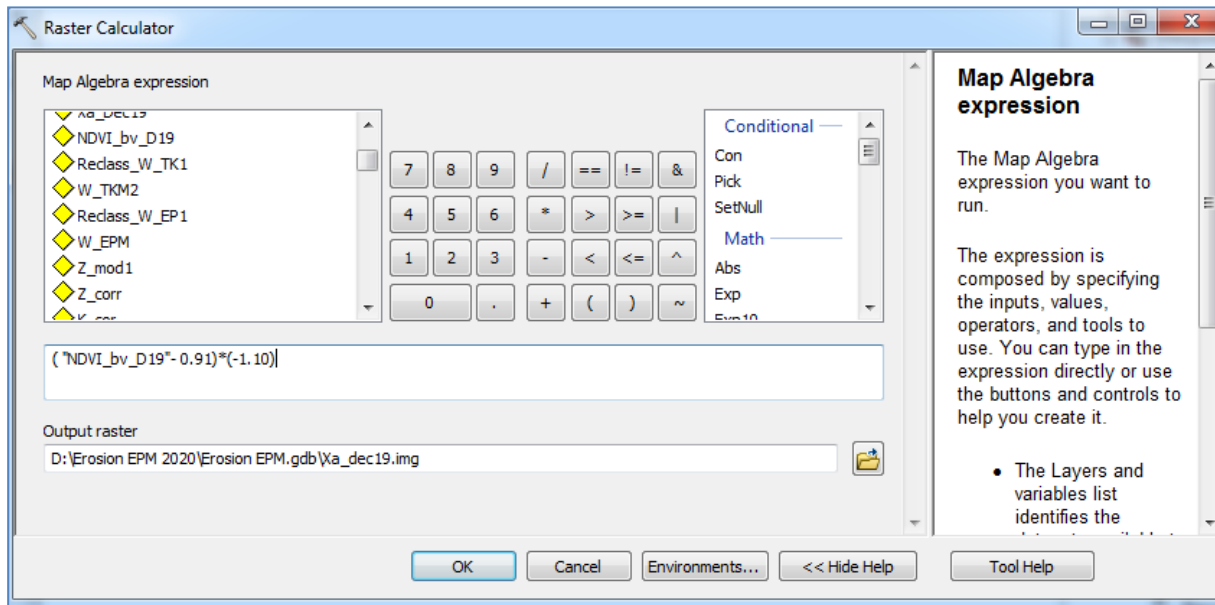


Il existe une relation linéaire entre NDVI et Xa

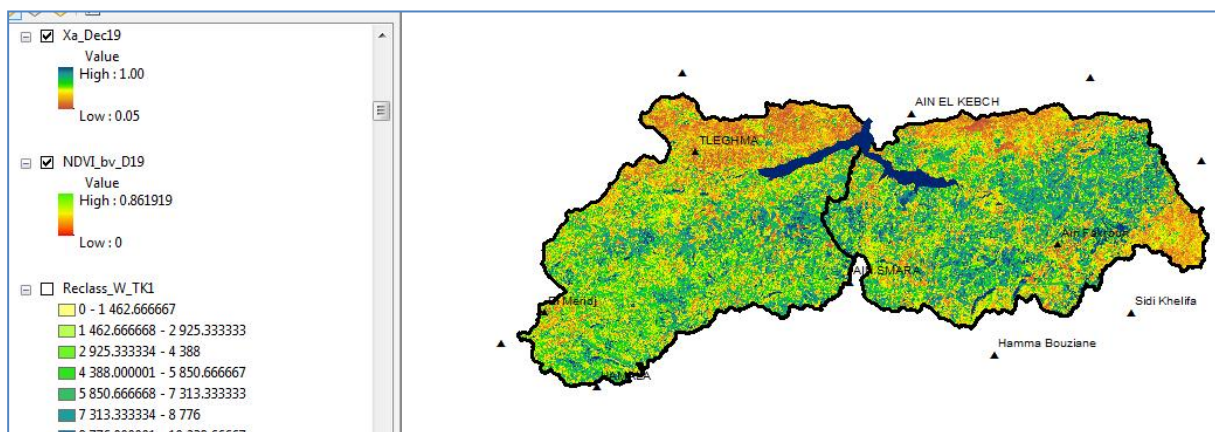
$$Xa = -1.1047 * NDVI + 1 \text{ donc } Xa \text{ aussi :}$$

$$Xa = (NDVI - 0.91) * (-1.10)$$

Spatial analyst tools - map algebra – raster calculator



Ok



2.6. Coefficient de type et étendue de l'érosion (ϕ)

Les valeurs du coefficient de type de l'érosion ϕ et leur développement varient en fonction de la taille des bassins hydrographiques.

Ce facteur précise et identifie les zones touchées par l'érosion dans le bassin versant, (les cours d'eau, les rivières, les ravins, les dépôts alluviaux ou tout le bassin versant). Cela nécessite un certain nombre de visites du bassin versant.

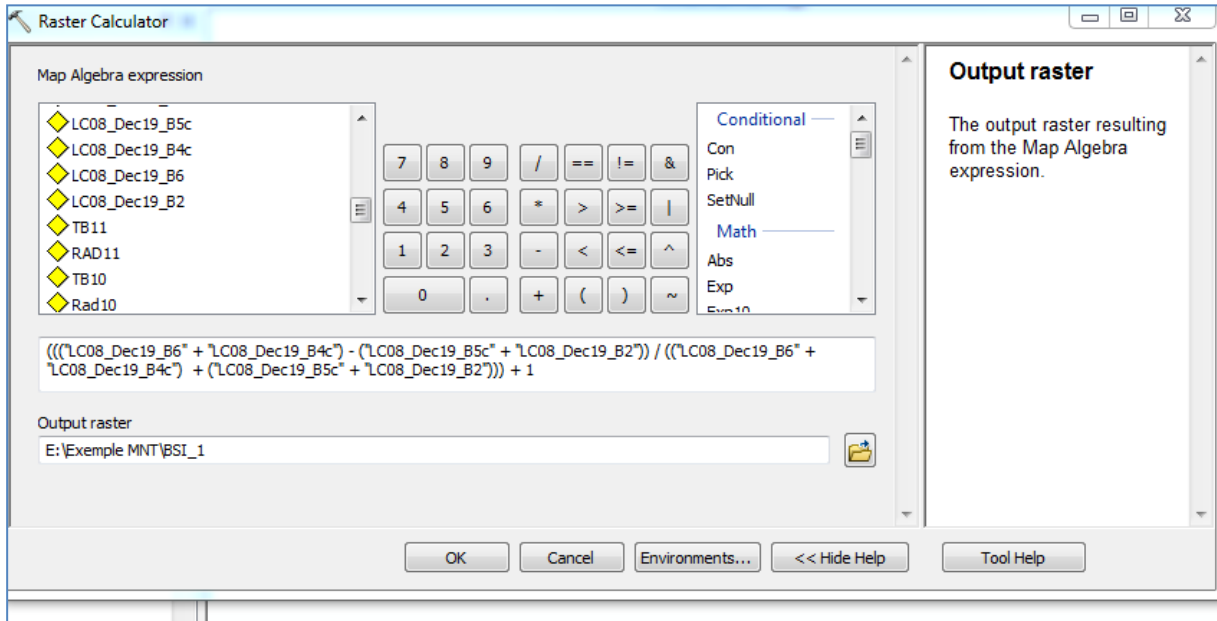
Cette valeur est provenue du travail de terrain par les observations sur le développement de l'érosion dans le bassin ainsi que des images satellitaires à haute résolution.

Pour landsat 08 le coefficient de type et étendue de l'érosion ϕ est déterminé par la formule suivante :

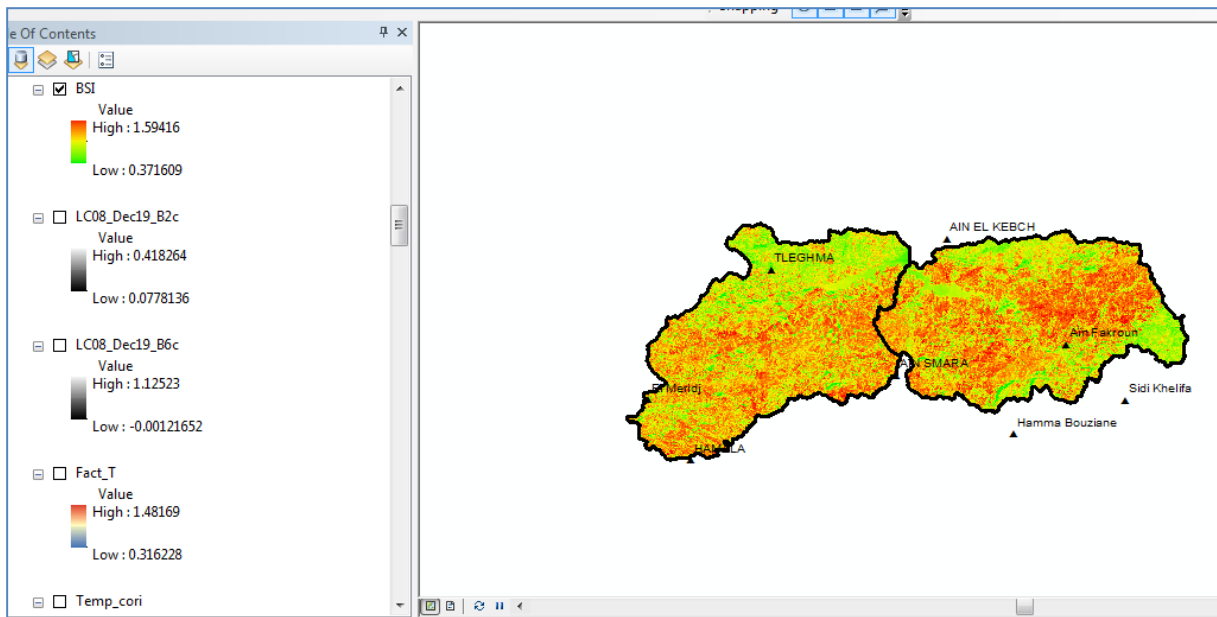
$$\phi = \frac{(B6 + B4) - (B5 + B2)}{(B6 + B4) + (B5 + B2)} + 1$$

Où B6 est le canal spectral infrarouge à ondes courtes (SWIR 1), B4 est le canal spectral rouge, B5 est le canal spectral proche infrarouge (NIR) et B2 est le canal spectral bleu.

Correction sur les bandes B6, B5, B4 et B2 de la même manière de correction des bandes utilisées pour le NDVI.



Ok



2.7. Pentés de la zone d'étude (Ja) en (%)

Les pentes constituent un paramètre très important dans le modèle EPM. L'augmentation de la vitesse d'écoulement sous l'effet des pentes provoque fortement l'érosion.

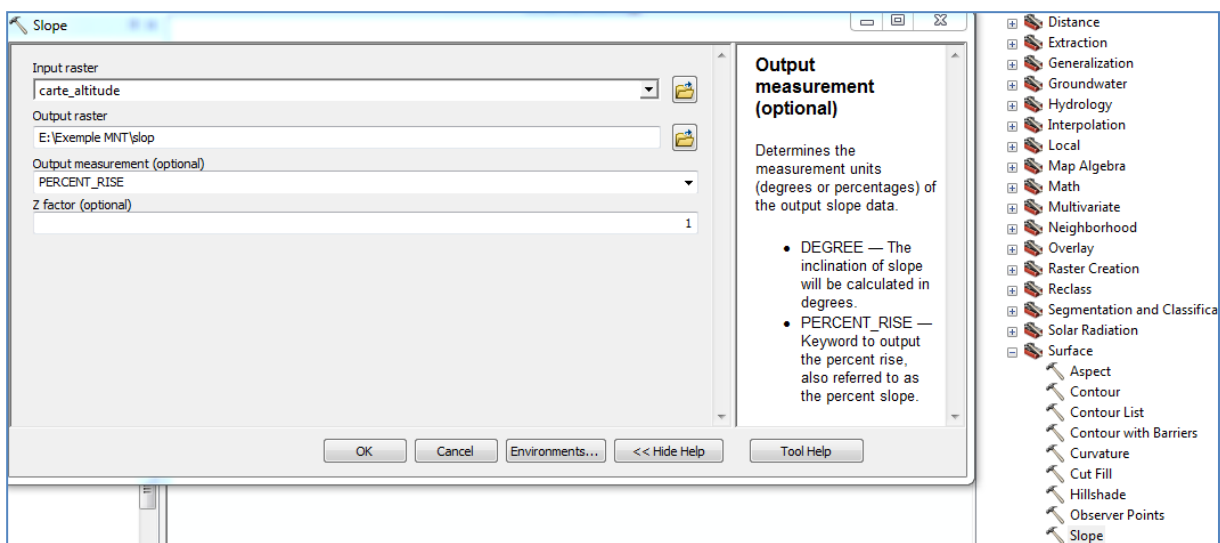
Les pentes sont calculées à partir du fichier MNT.

Spatial analyst tools – surface –slope

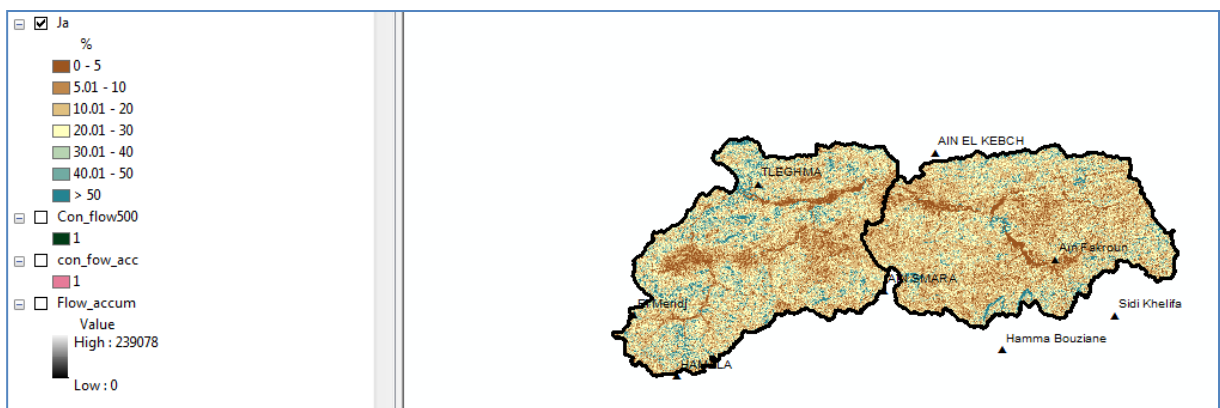
Input: carte_altitude

Output: slope

Output mesuremnt : percent



Ok



2.8. Coefficient d'érodibilité du sol (Y)

Le facteur d'érosion (Y) d'un sol exprime sa sensibilité à l'érosion hydrique et dépend de ses propriétés intrinsèques à savoir sa texture, sa structure et sa perméabilité. Il se détermine pour un sol donné par la relation de (WISHMEIER W.H. et SMITH D.D. 1978) :

$$K = \frac{2.1 * M^{1.14} * 10^{-4} * (12 - a) + 3.25 * (b - 2) + 2.5(c - 3)}{100}$$

Où M est calculé par la formule :

$$M = (\% \text{ limon}) \times (100 - \% \text{ argile}).$$

a : est le pourcentage de matière organique.

b : est le code de la perméabilité.

c : est le code de la structure.

Télécharger les paramètres de facteur K à partir de site suivant :

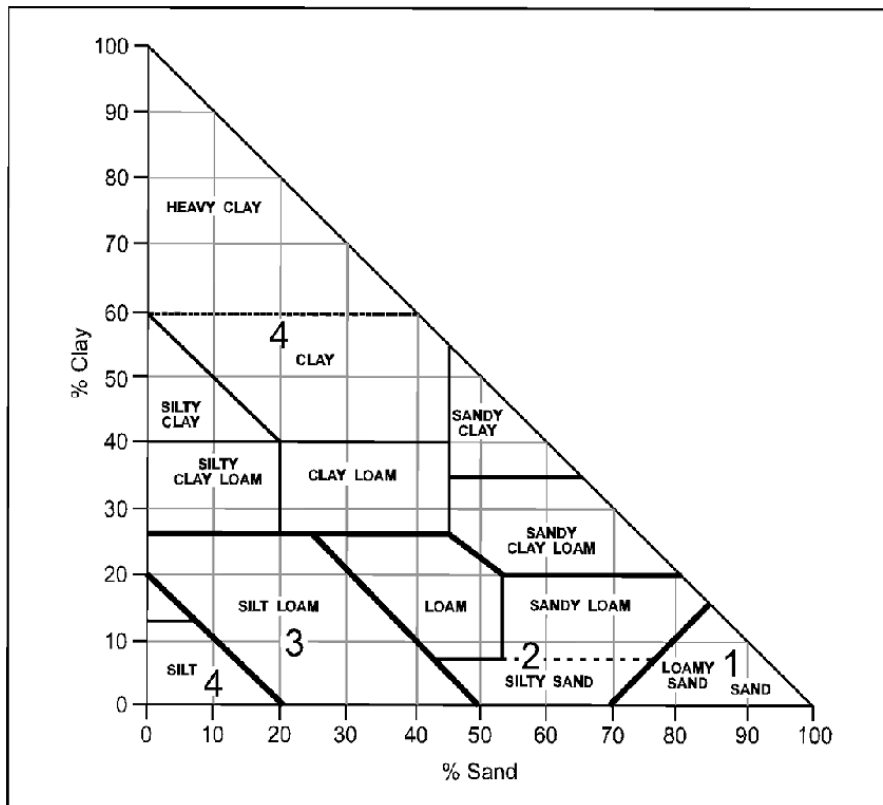
https://soilgrids.org/#/?layer=ORCDRC_M_sl2_250m&vector=1

vidéo d'utilisation de site : <https://www.youtube.com/watch?v=Qda8TObnQaA>

Pour les b et c utiliser :

b : est le code de la structure.

c : est le code de la perméabilité



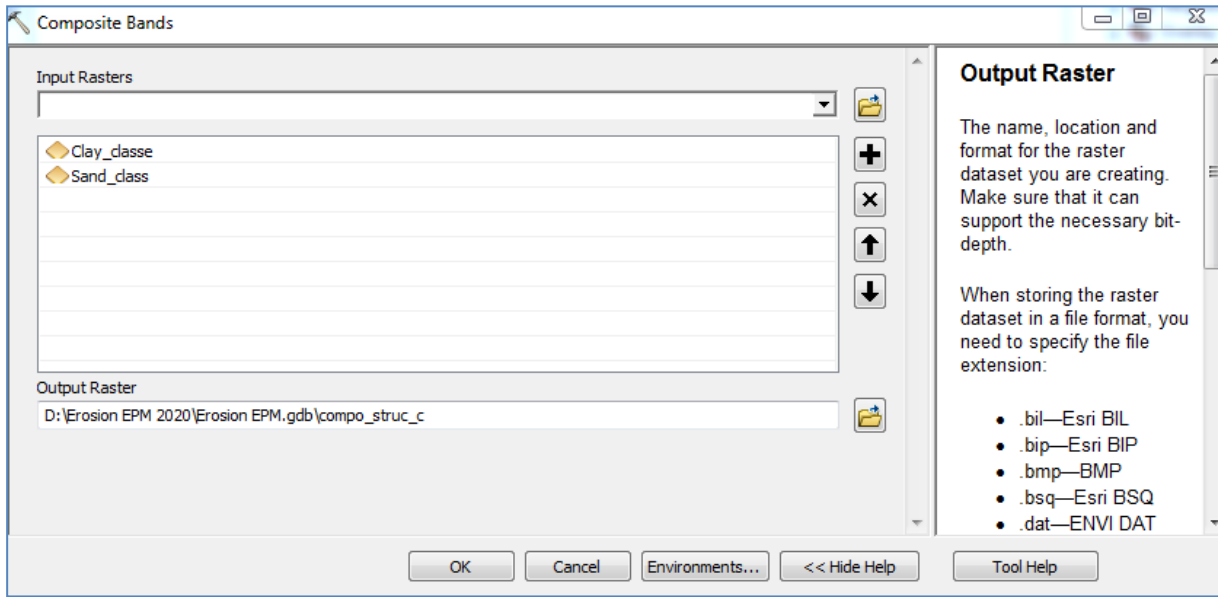
Code Structure basée sur la texture

c : est le code de la structure.

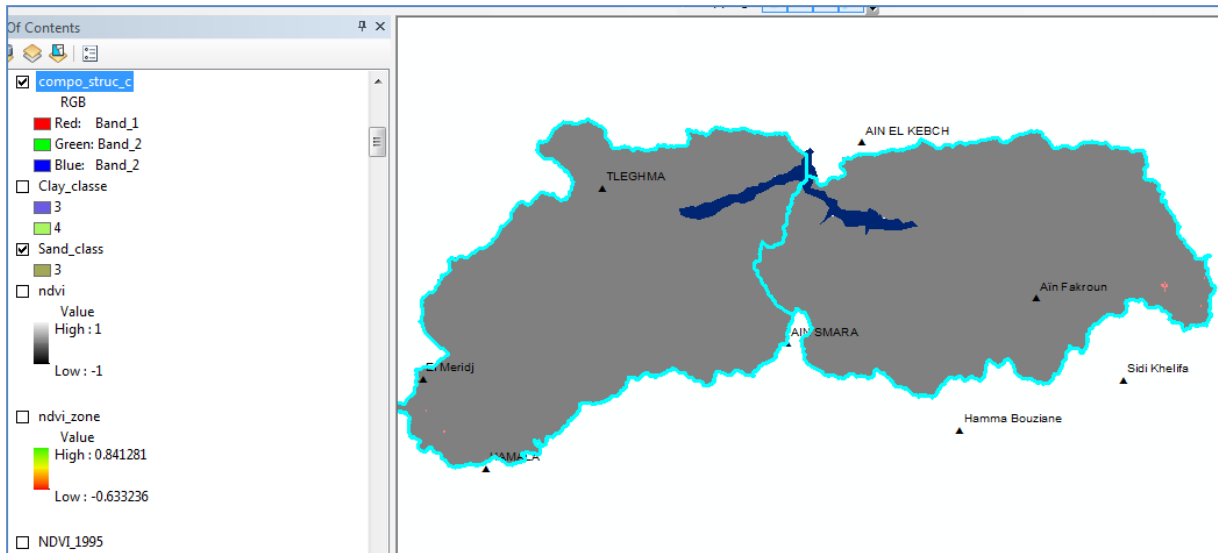
Reclassifé la carte sand % selon le pourcentage (<20,4) (<

Reclassifé la carte clay%

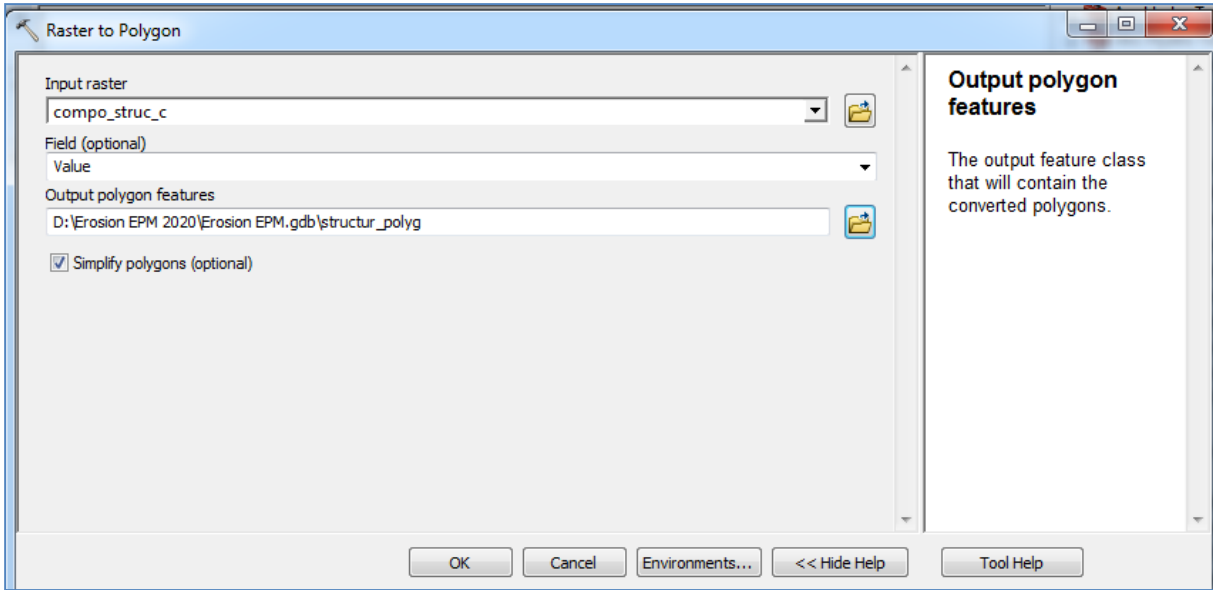
Composite de deux cartes



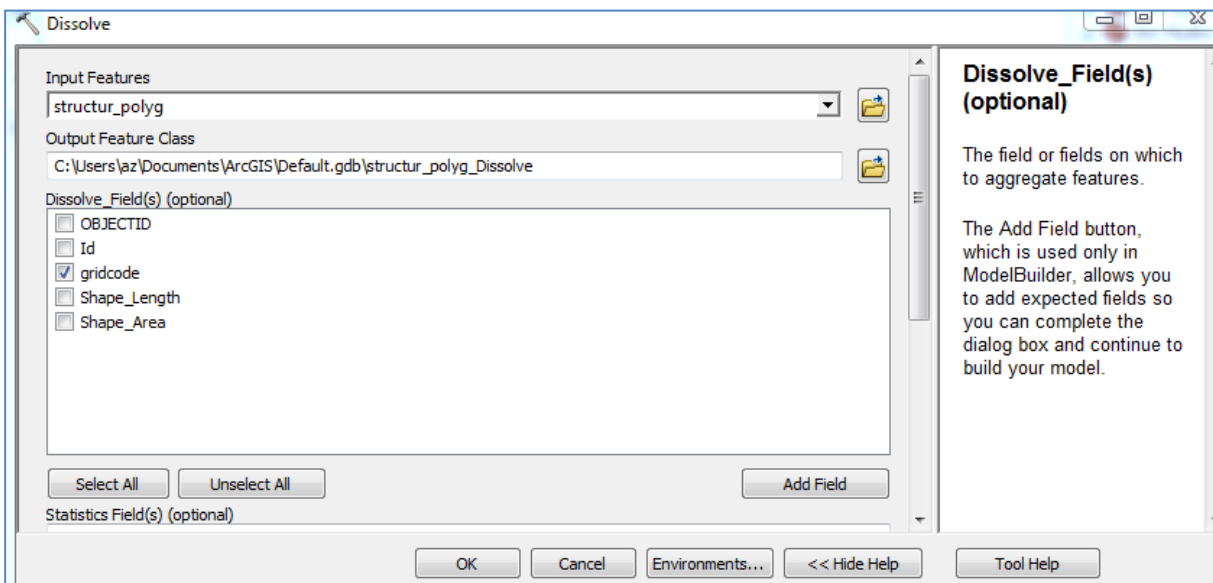
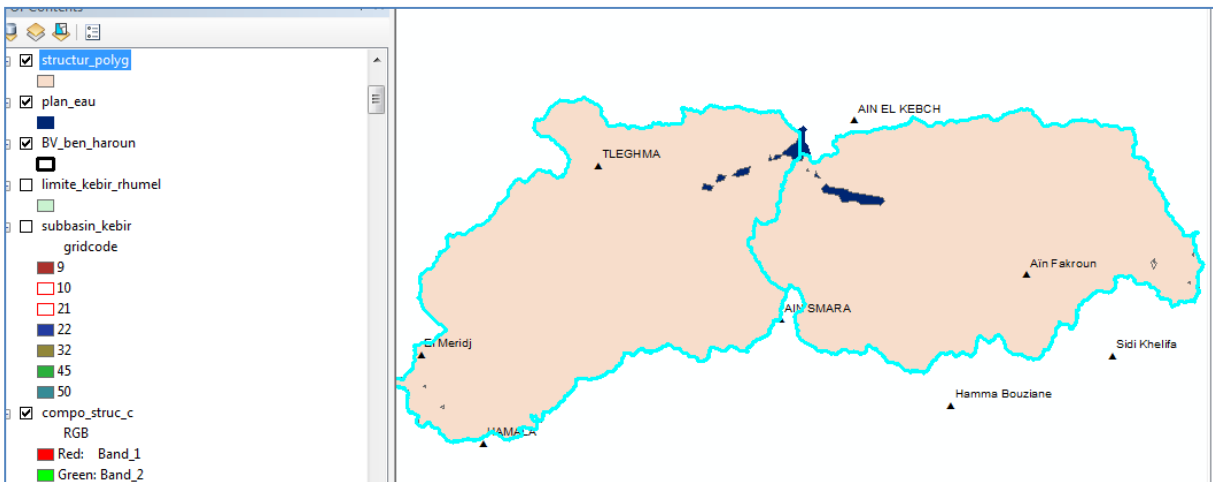
Ok



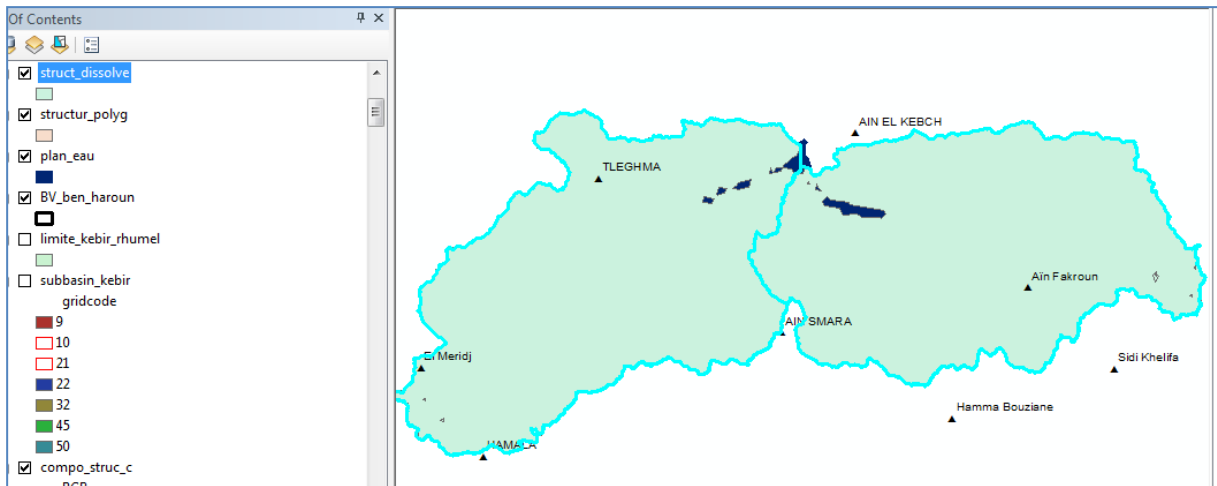
Raster to polygon



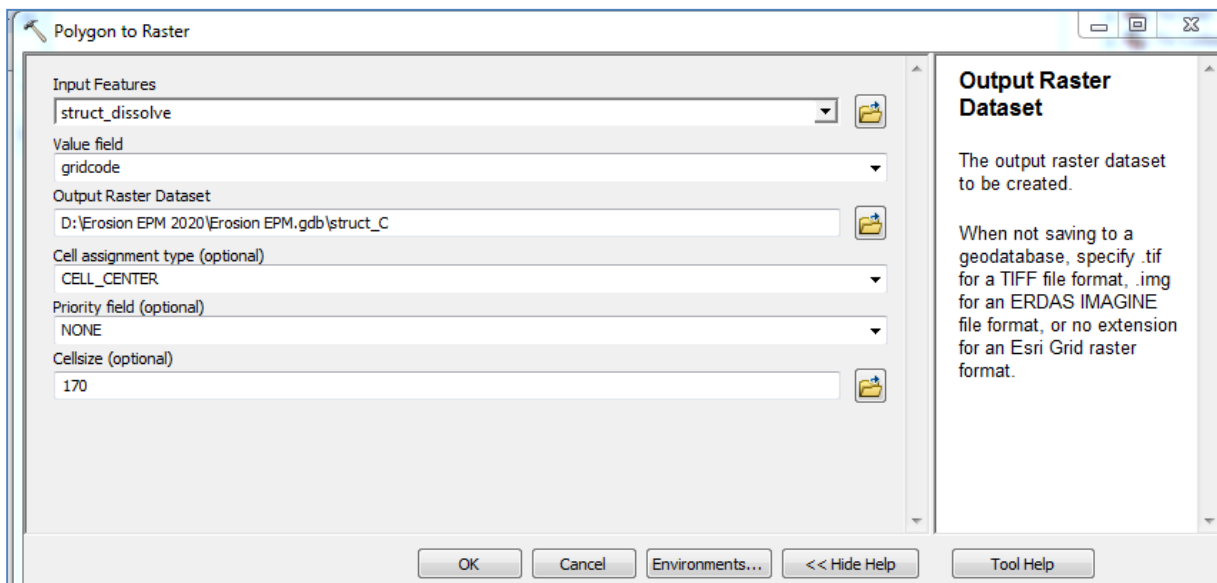
Ok



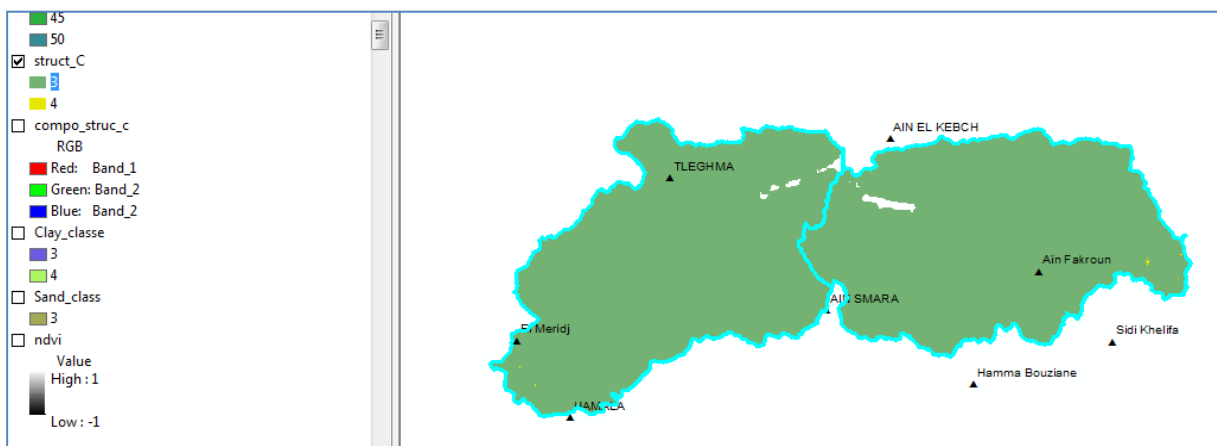
Ok



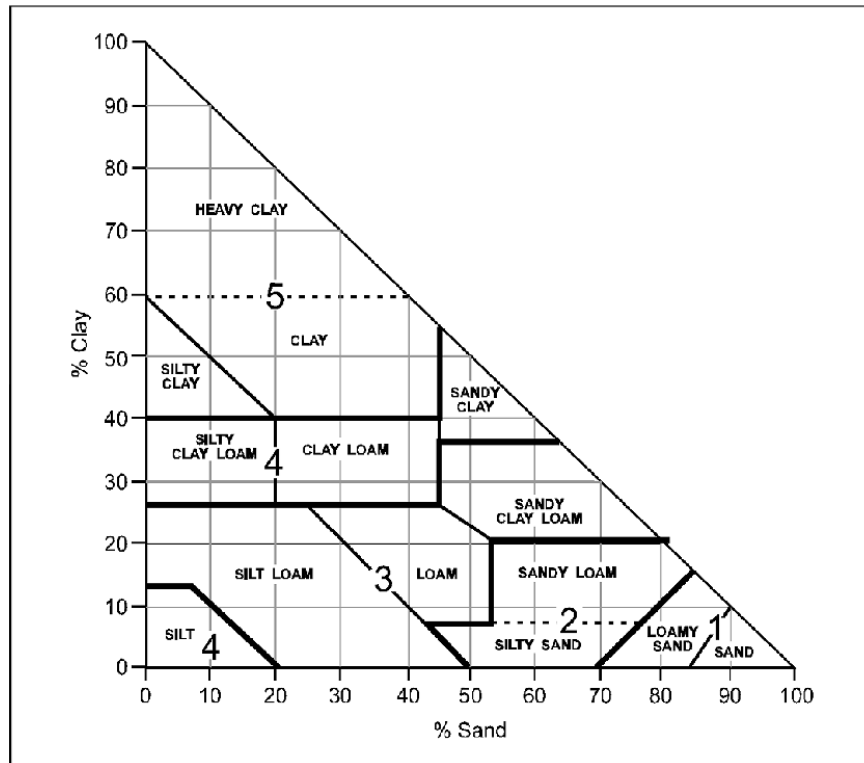
Polygon to raster



Ok



b : est le code de la perméabilité.



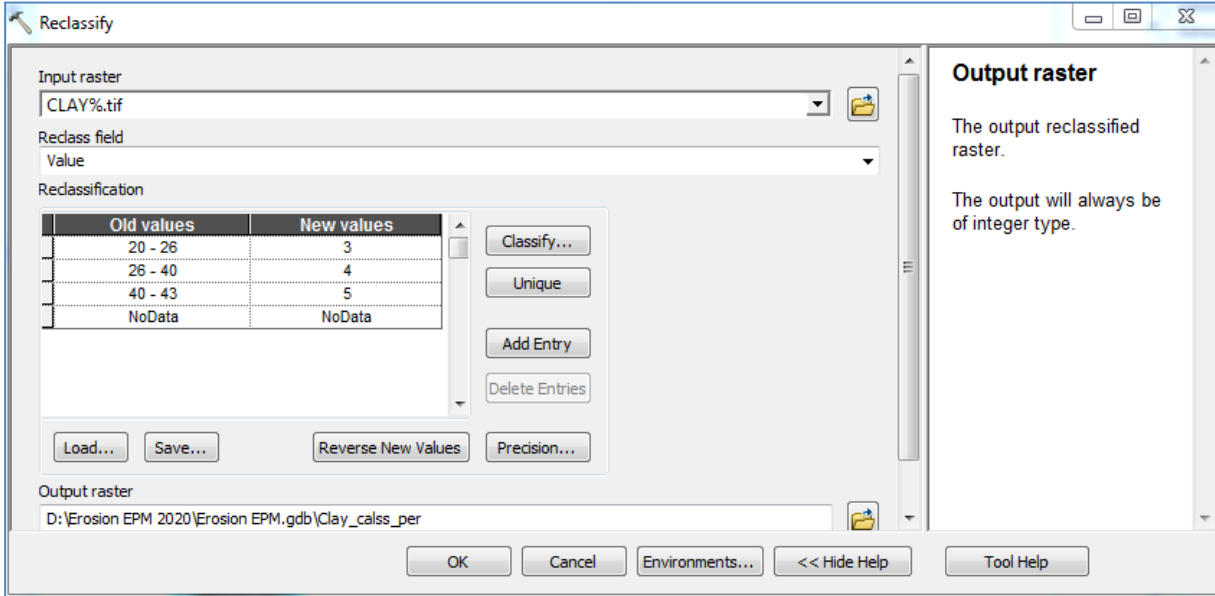
Code de perméabilité

Reclassify –sund %

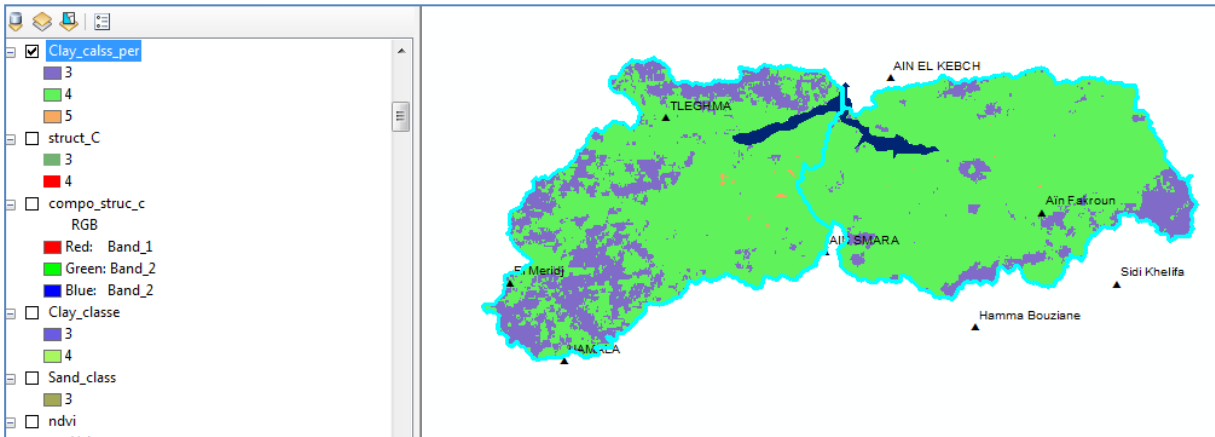


Argile (Clay) en %

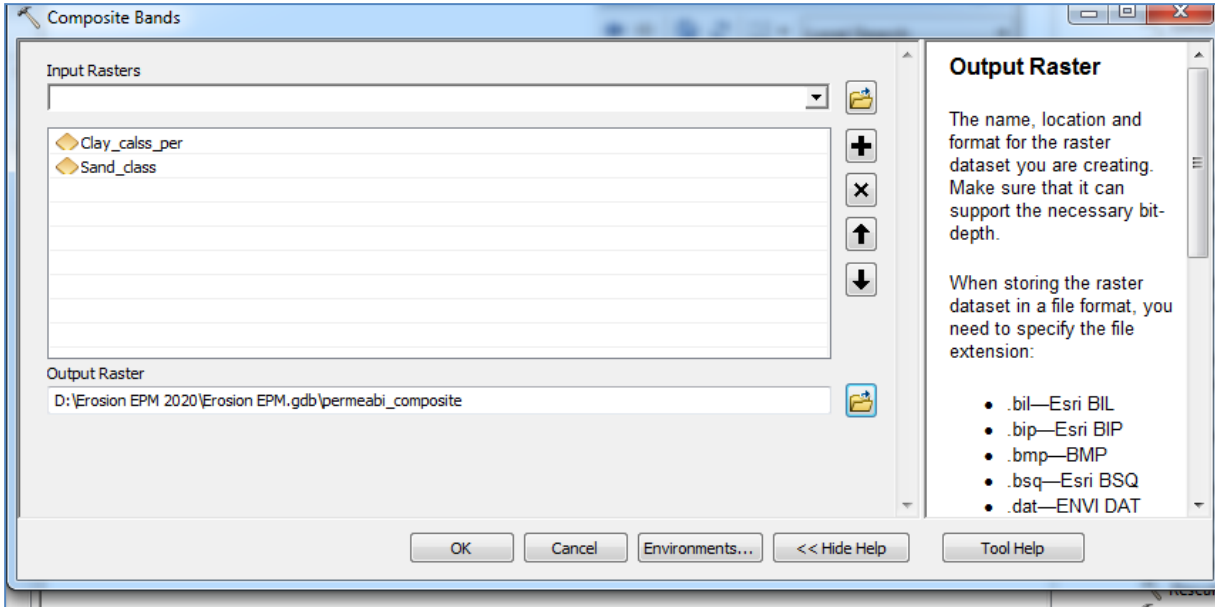
Clay classes



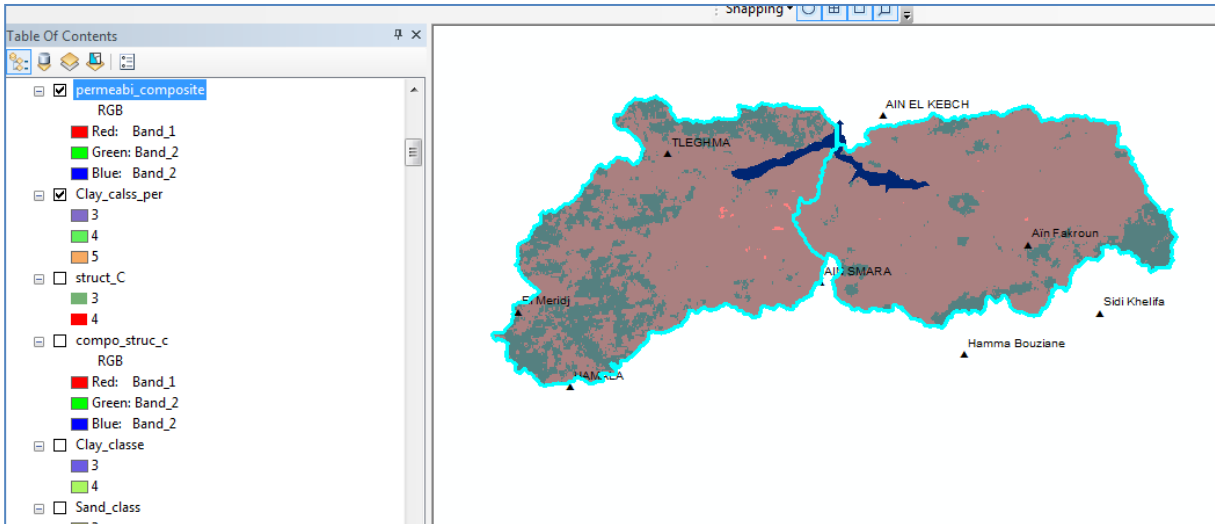
Ok



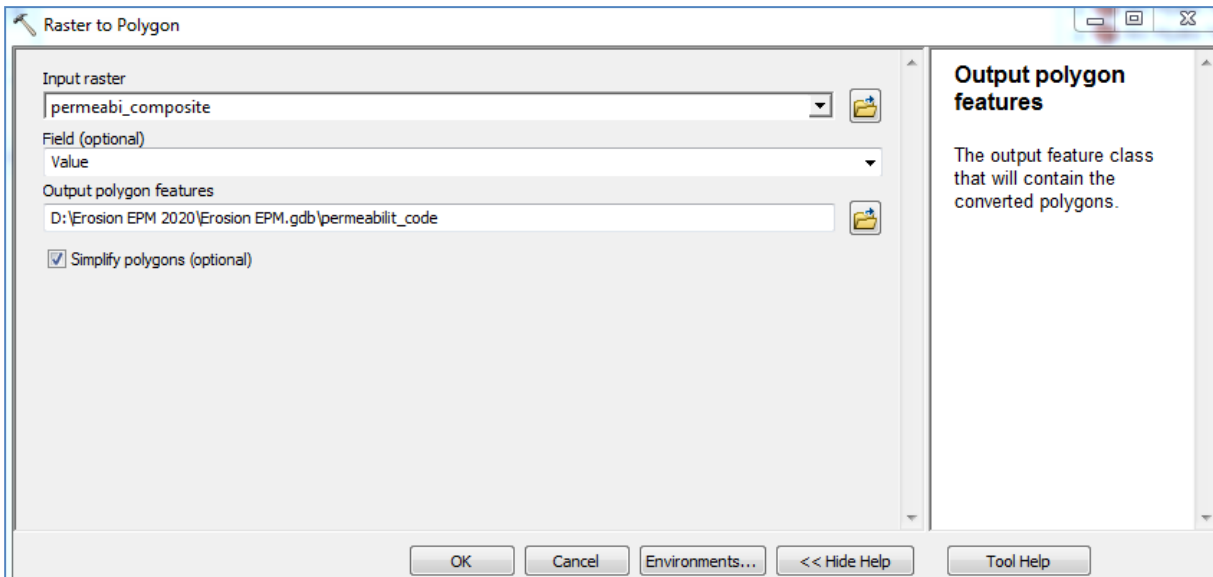
Composite des deux cartes



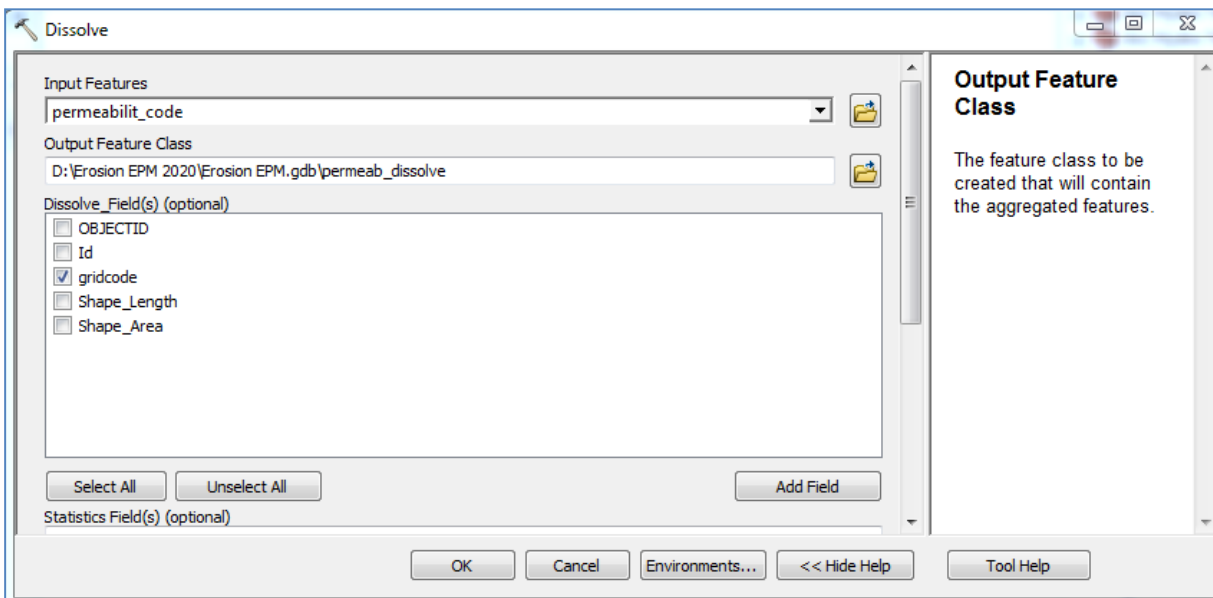
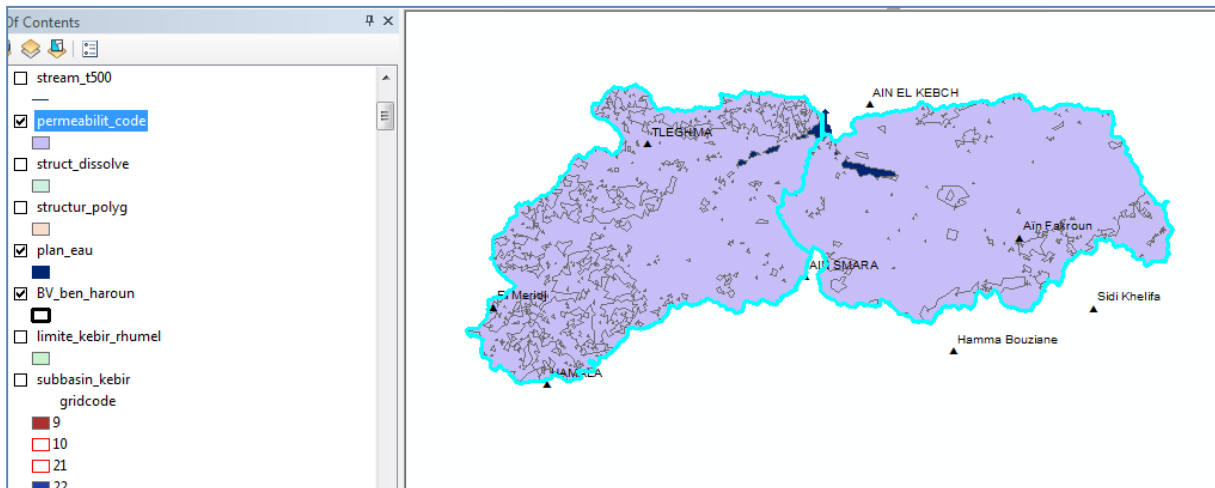
Ok



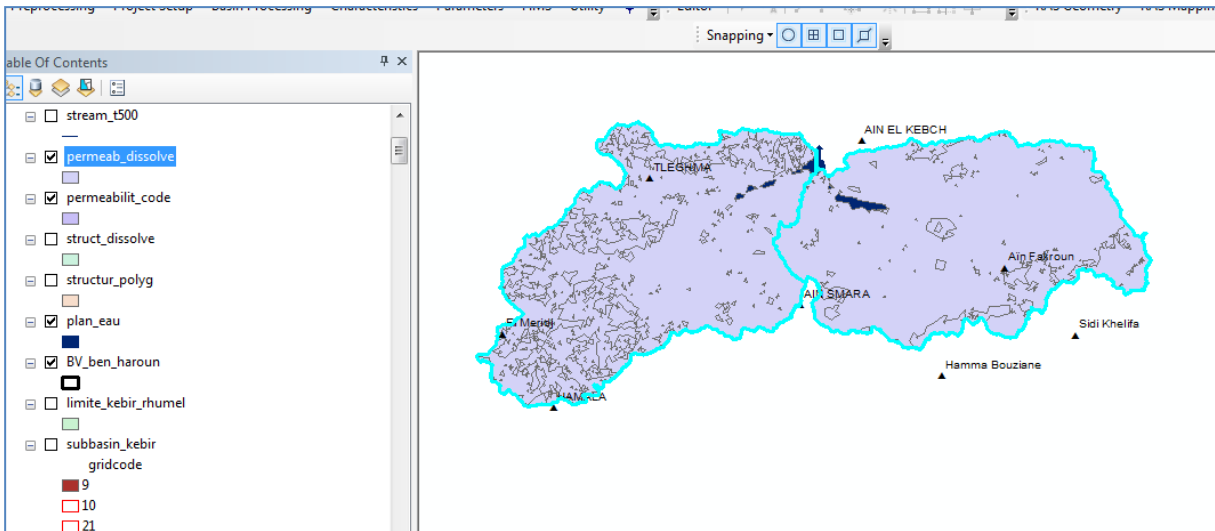
Raster to polygon



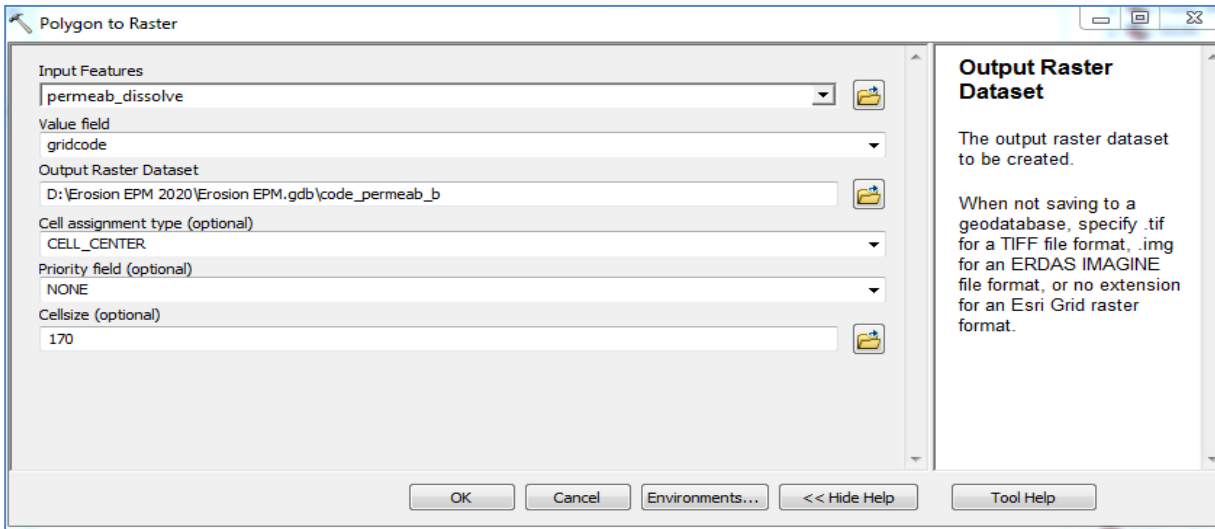
Ok



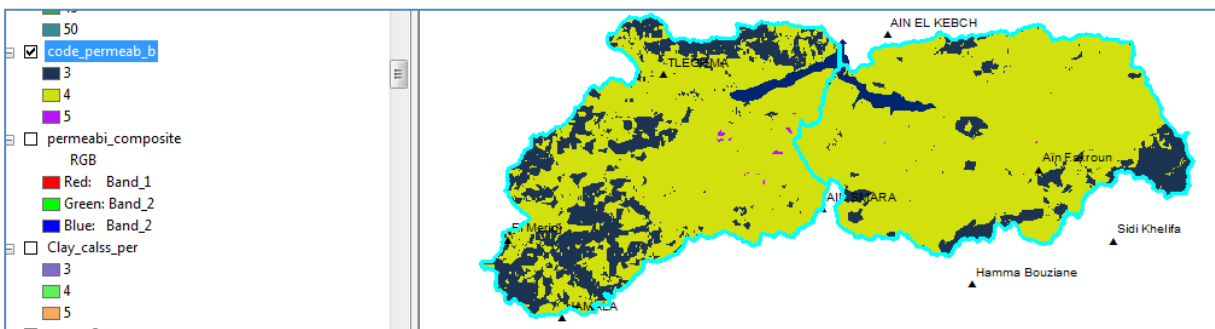
Ok

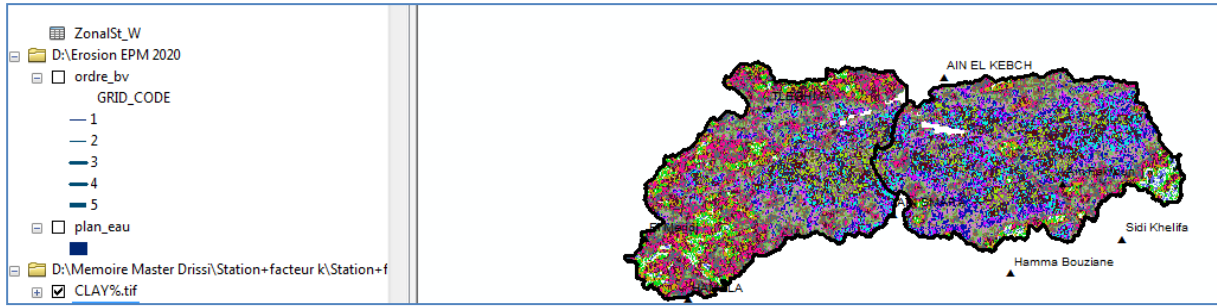


Polygon to raster

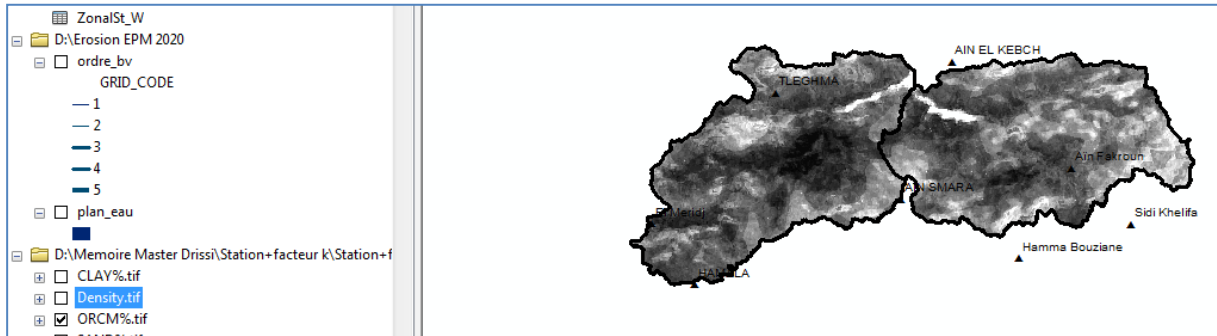


Ok

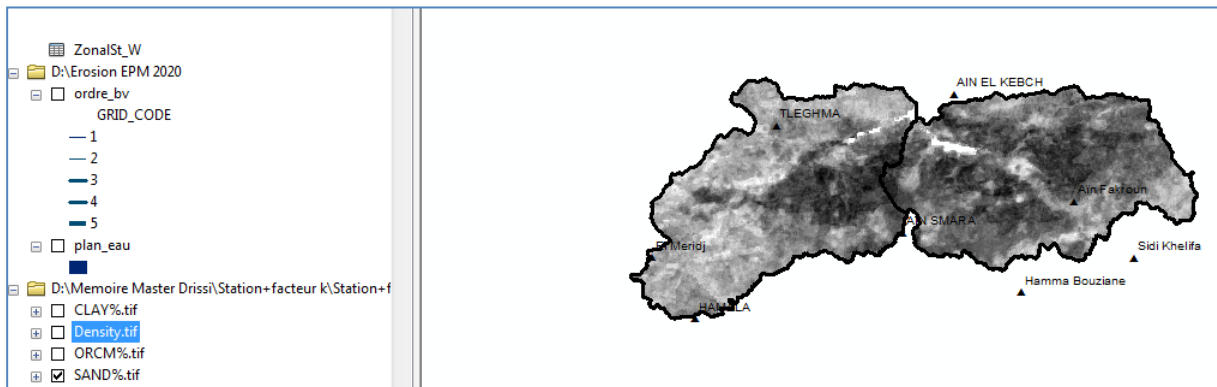




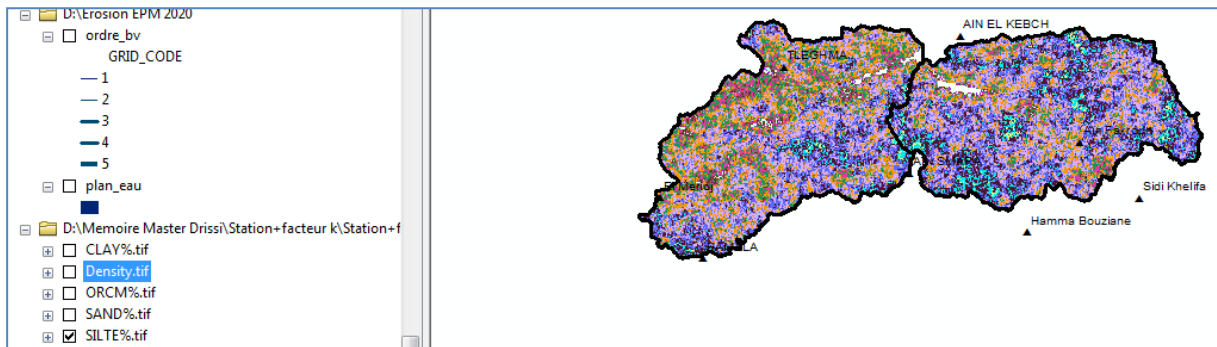
Matière organique %

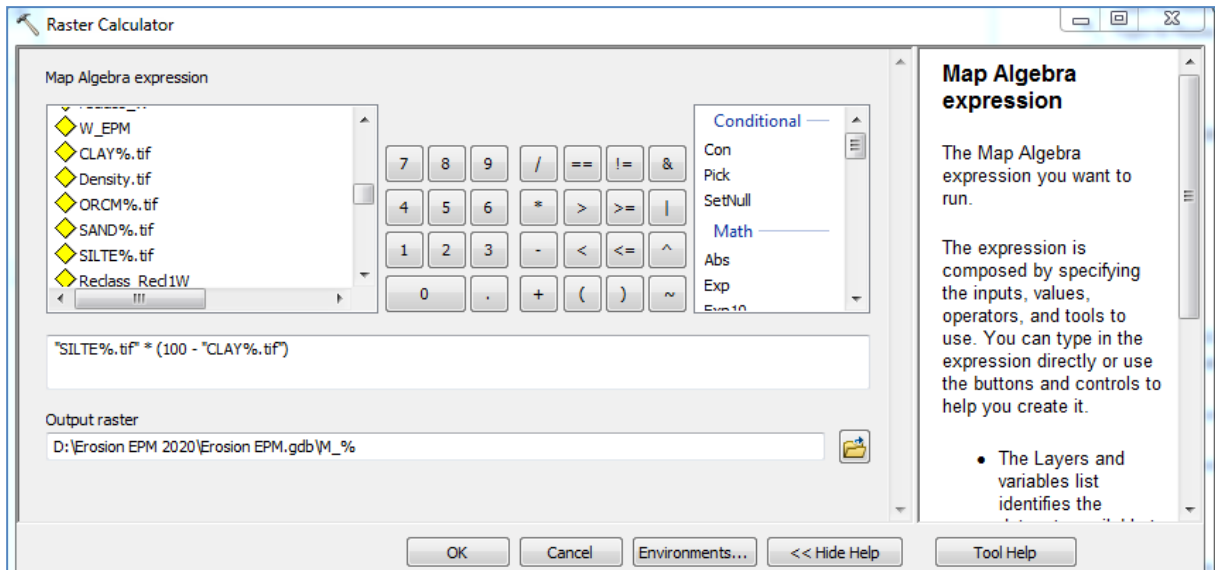


Sable (Sand) en %

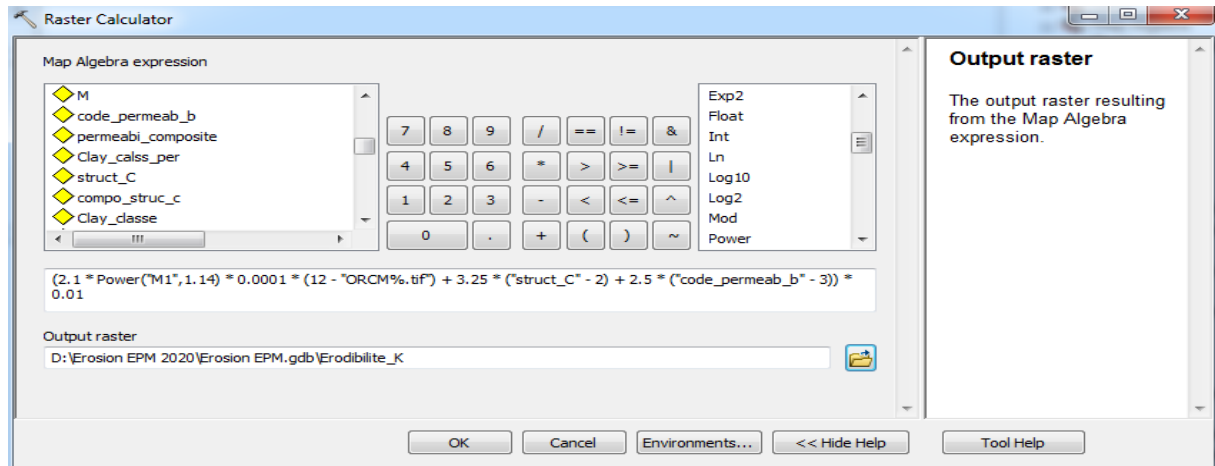


Limon (Silt) en %



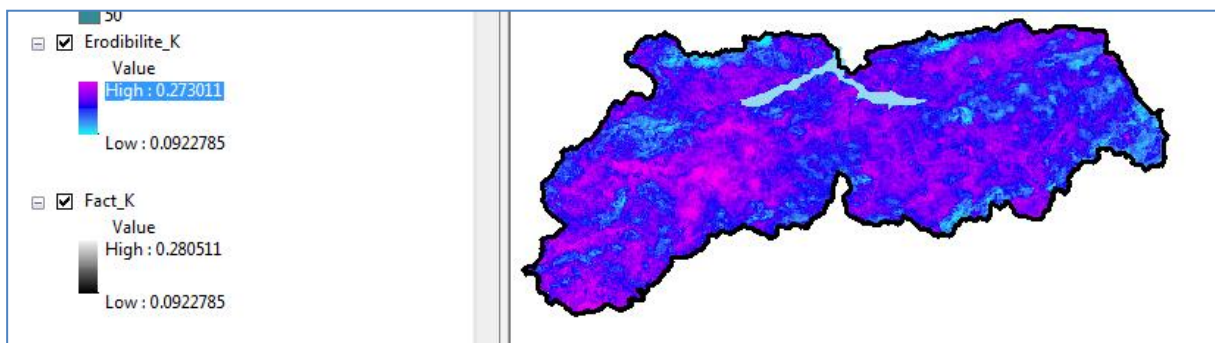


Ok



Ok

Facteur Y



2.9. Coefficient d'érosion Z

Le coefficient d'érosion (Z) indique la probabilité d'érosion dans le bassin versant dont la valeur de (Z) définit la classe d'érosion selon le tableau de Gavrilovic.

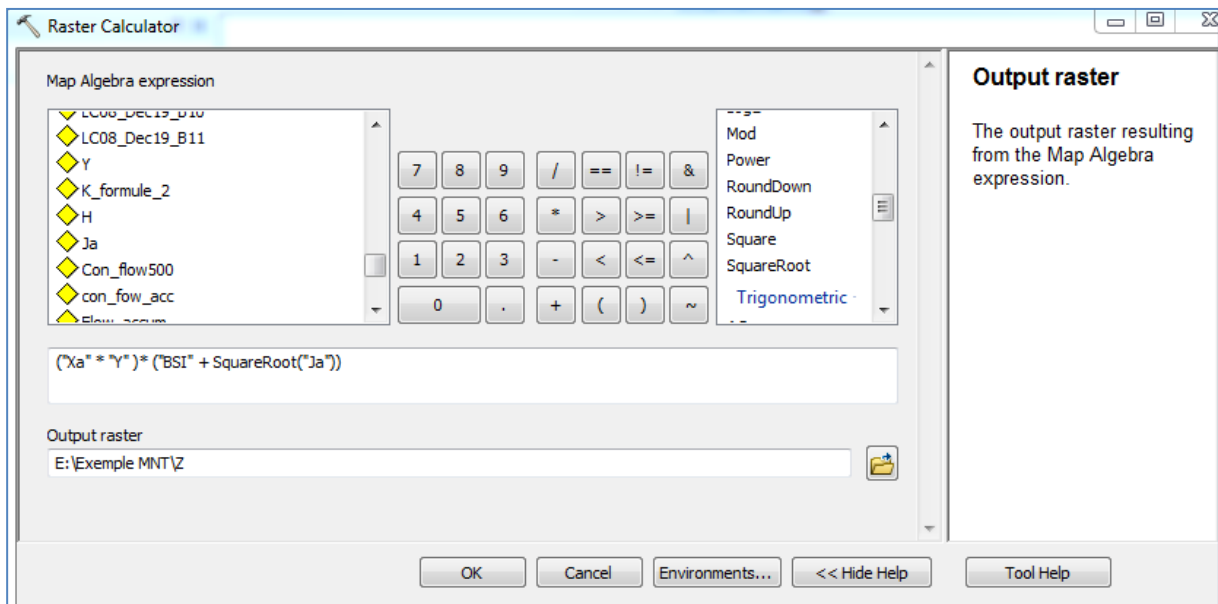
$$Z = X_a * Y * (\phi + \sqrt{J_a})$$

X_a : Coefficient de protection du sol du bassin versant, se rapportant à la protection des sols par la couverture végétale, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles.

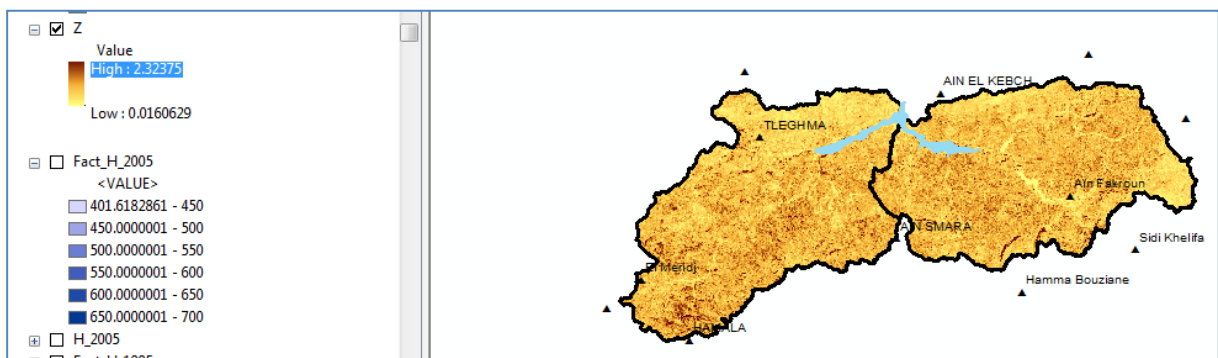
Y : Coefficient d'érodibilité du sol, indique la sensibilité des sols à l'érosion dépend de la géologie du bassin versant

ϕ : Coefficient de type et d'étendue de l'érosion équivalent numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant

J_a : Pente moyenne de la zone d'étude en (%)



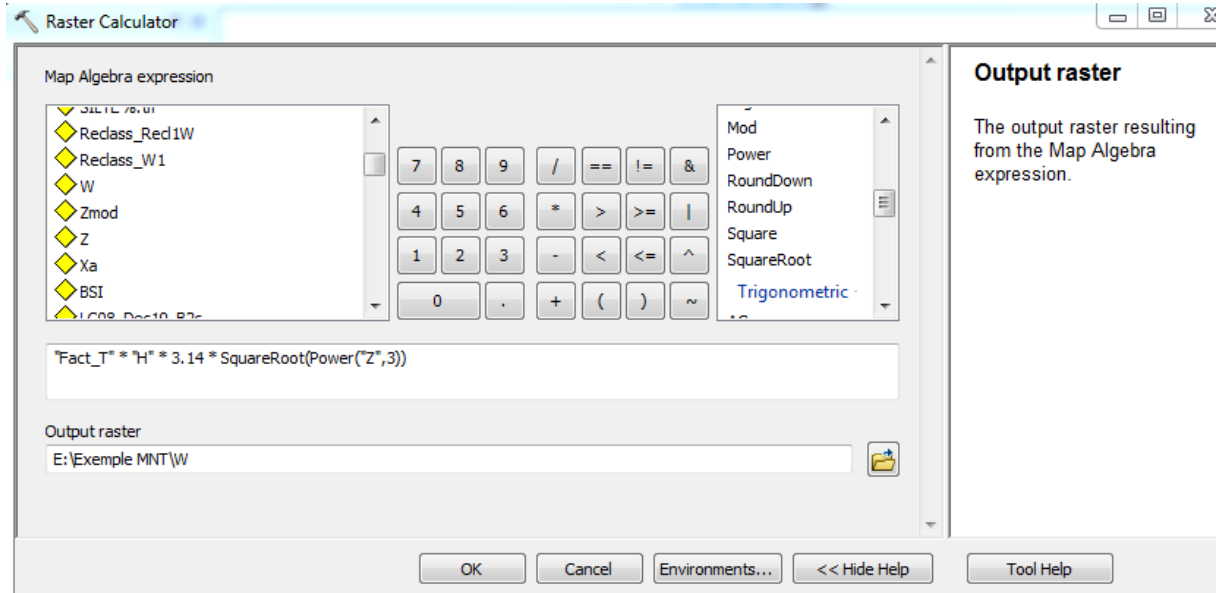
Ok



2.10. Volume annuel moyen des sédiments érodés (W)

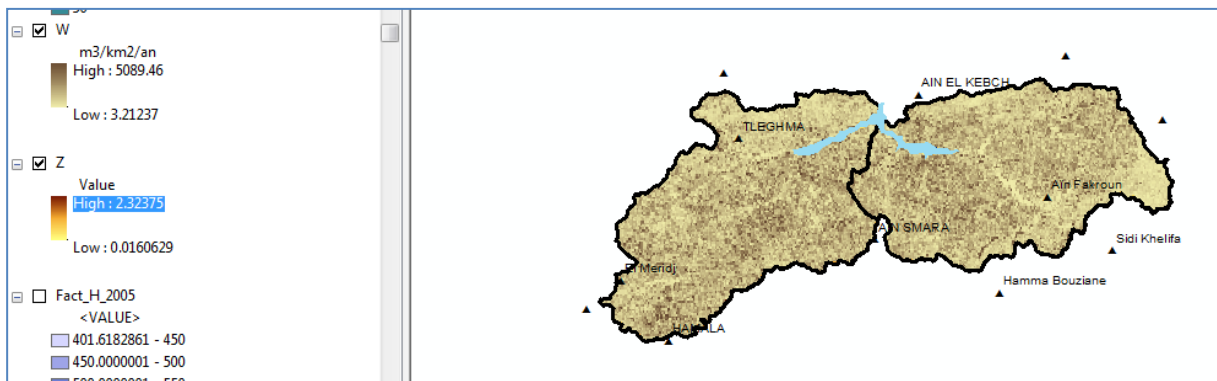
Après l'élaboration de toutes les cartes représentant les différents facteurs du modèle EPM nous obtenons la carte de volume annuel moyen (W).

$$W = T * H * \pi * \sqrt{Z^3}$$



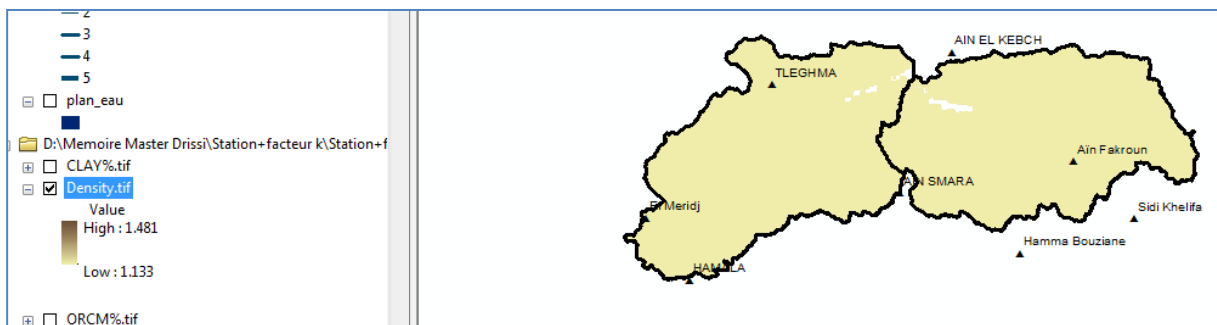
Ok

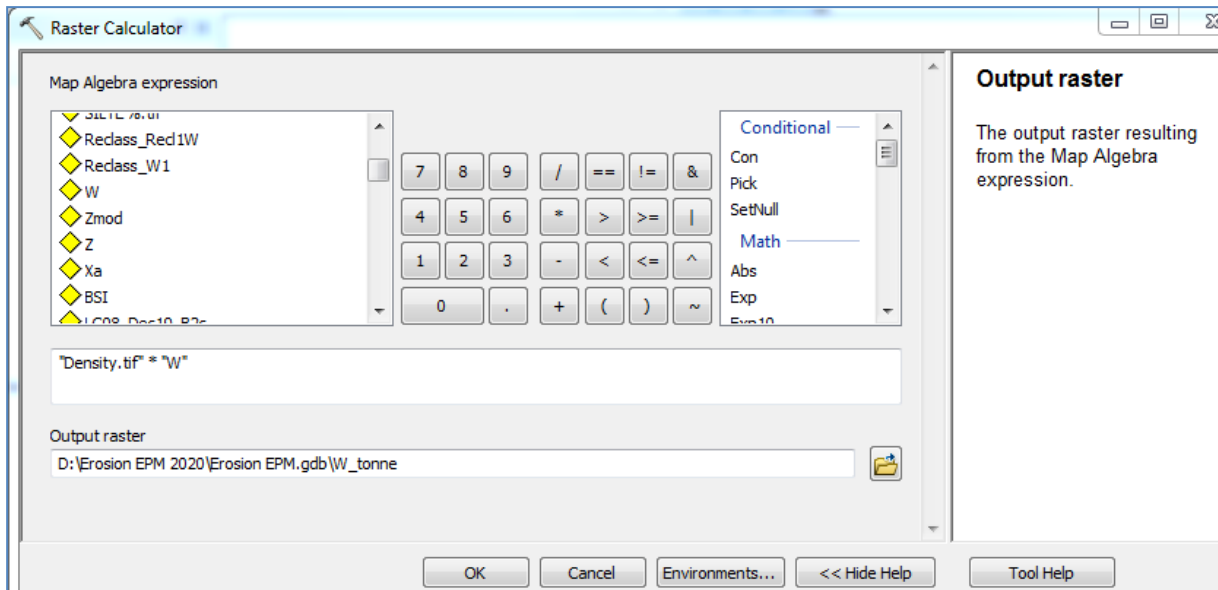
W en (m³/km²/an)



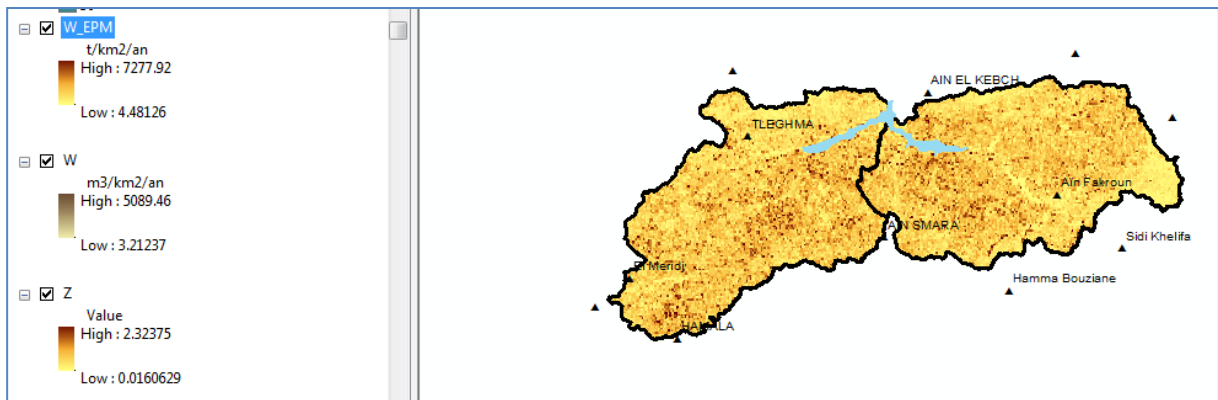
W en (T/km²/an) = W en (m³/km²/an)* masse volumique (T/m³)

Carte masse volumique en t/m³ du bassin versant télécharger à partir de site : Soilsgrid.org





Ok

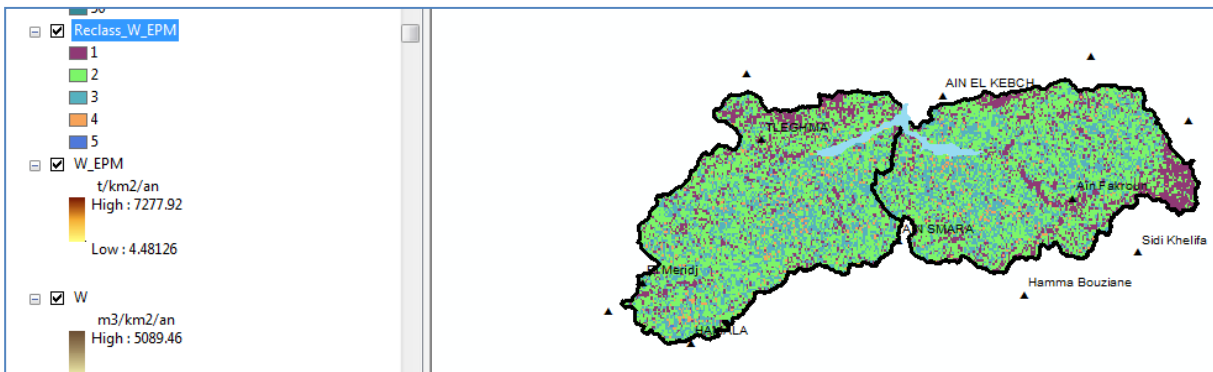
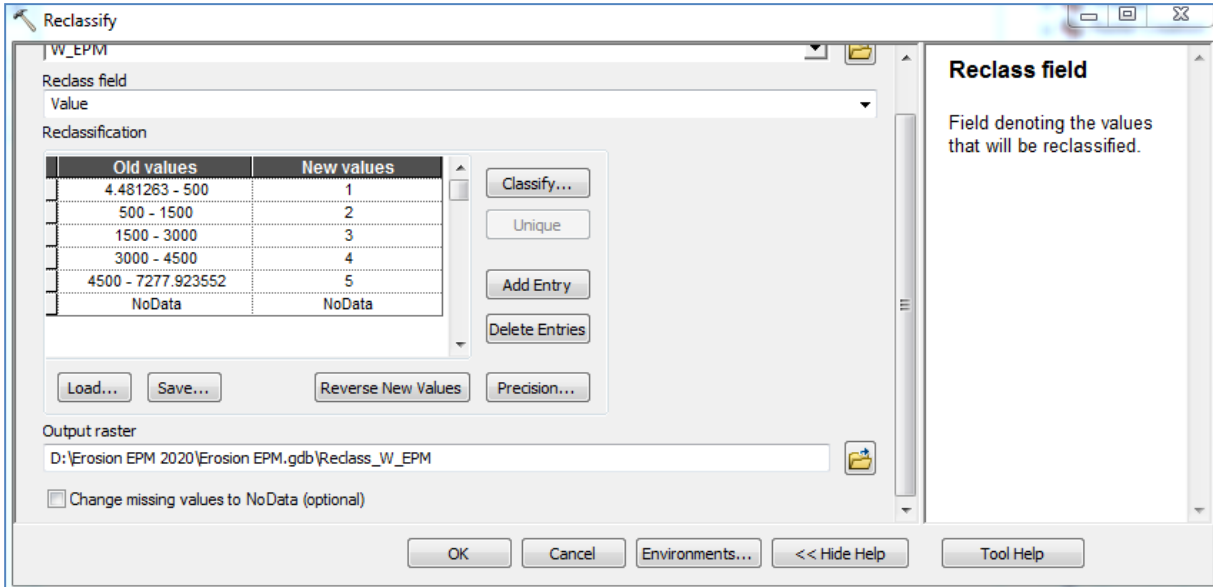


Pour déterminer l'érosion moyenne sur l'ensemble du bassin versant :

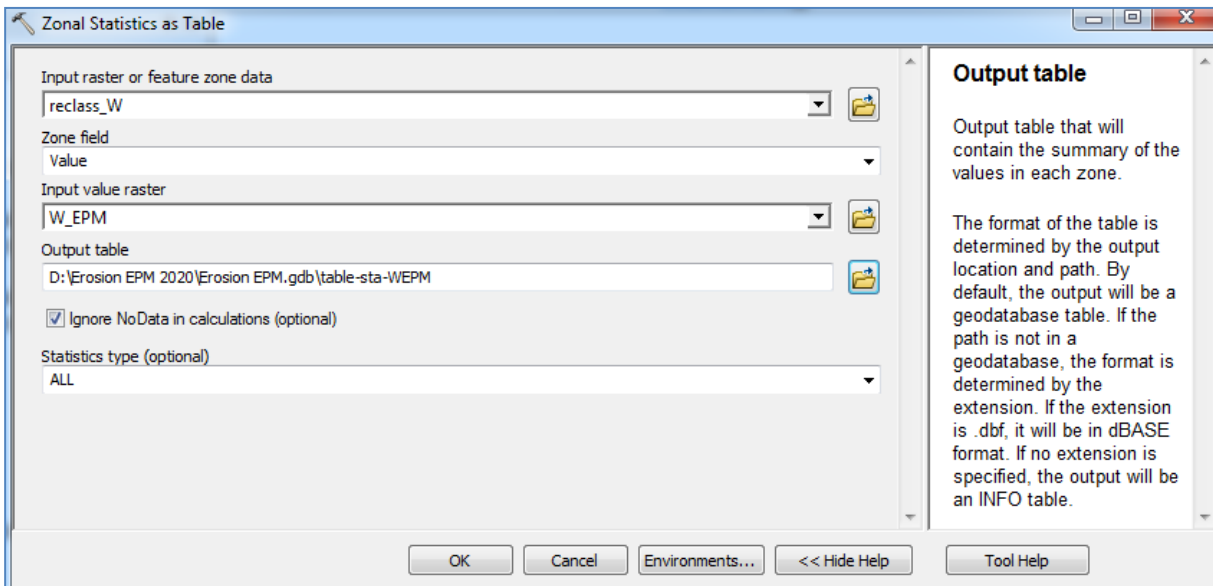
Spatial analyst tools – reclassify

Input : W-EPM

Output : reclass_W



Spatial analyst tools – zonal – zonal sat as table



Ok

Table

stat_EPM

OBJECTID *	Value	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	3946	0.038244	11.417127	499.965589	488.548462	323.979748	119.108092	1278424.085239
2	2	11366	0.110156	500.008412	1499.763207	999.754794	960.759251	281.852021	10919989.642686
3	3	6230	0.06038	1500.041042	2999.624752	1499.58371	2038.075402	387.247281	12697209.757408
4	4	709	0.006871	4.481263	4496.028616	4491.547354	3440.631967	390.429992	2439408.064907
5	5	68	0.000659	4519.252292	7277.923552	2758.67126	5105.464074	606.872791	347171.557035

OBJECTID *	Value	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM		
1	1	3946	0.038244	11.417127	499.965589	488.548462	323.979748	119.108092	1278424.09	12.39028148	
2	2	11366	0.110156	500.008412	1499.76321	999.754794	960.759251	281.852021	10919989.6	105.8333961	
3	3	6230	0.06038	1500.04104	2999.62475	1499.58371	2038.0754	387.247281	12697209.8	123.0589928	
4	4	709	0.006871	4.481263	4496.02862	4491.54735	3440.63197	390.429992	2439408.06	23.64058225	
5	5	68	0.000659	4519.25229	7277.92355	2758.67126	5105.46407	606.872791	347171.557	3.364500825	EPM moy
			0.21631							268.2877534	1240.29288

EPM moy = 1240.29 T/km²/an

Conclusion

L'intégration des cartes thématiques des différents facteurs de l'Equation universelle de pertes en sol révisée RUSLE et le modèle Erosion Potentiel Méthode EPM dans le système d'information géographique (GIS) avec leurs bases de données, a permis d'une manière rapide et efficace d'éclaircir la complexité et l'interdépendance des facteurs dans l'analyse des risques d'érosion.

Enfin nous espérons que ce manuel répond dans une large mesure aux attentes des lecteurs et qu'il sera d'une grande utilité pour une familiarisation rapide avec cet outil pour le suivi et la compréhension de phénomène d'érosion.

Références bibliographiques

Arnoldus, H.M.J,1977. Methodology used to determine the maximum potential average soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. Report of an FAO/UNEP Expert Consultation on Assessing soil degradation, Rome, 18-20 January 1977, *FAO Soils Bulletin* 34 (1977) 39-48.

Baali. S,2018. Estimation de l'érosion dans le bassin versant d'oued l'abioud par le modèle de gavrilovic "érosion potentiel method -EPM". Mémoire de master en hydraulique, université de Msila. 2018

Gitas, I.Z., K., Douros, C., Minakou, G.N., Silleos, et C.G., Karydas, 2009. Multi-temporal soil erosion risk assessment in n. Chalkidiki using a modified usle raster model.*EARSeL eProceedings* 8, 1/2009. pp 40-53.

Kalman, R., 1967. Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin du Sebou. Rapport du Ministère de l'Agriculture, Maroc, 40 p.

Rango, A. et Arnoldus H.M.J. 1987. Aménagement des bassins versants. *Cahiers techniques de la FAO.*

Renard, K.G., G.R., Foster, G.A., Weesies and J.,P., Porter, 1991. RUSLE, Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 41, 1: 30-33.

Roose E. et Sarrailh J.-M., 1990 - érodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, Paris, vol. XXV, n° 1 2, p. 7-30.

Shin, G. J, 1999. The analysis of soil erosion analysis in watershed using GIS", Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Gang-won National University.

U.H.A.S.L.S, 2016. Unité Hydrographique Aquin Saint Louis de Sud, rapport de l'étude sur l'érosion des sols MUSLE

http://haitienvironnement.org/yahoo_site_admin/assets/docs/Erosion.145104054.pdf

Consulté le 21/08/2016

White, W.R., 1986. Problèmes d'érosion, transport solide et sédimentation dans les bassins versants, *Projet 5.3 du programme hydrologique international*, 155 pages.

Wischmeier, 1978 . Predicting rainfall erosion losses, aguide to conservation planning. Agricultur Hand- Book. N°537.USA.

Wischmeier, W.H., Smith D.D, 1978. Predicting Rainfall Erosion losses, Agriculture Handbook no. 57, US Department of Agriculture. Washington DC. USA. 58p.,

Landsat 7 Science Data Users Handbook. National Aeronautics and Space Administration

Site internet:

<https://eos.com/landsat-8/>

https://soilgrids.org/#!/?layer=ORCDRC_M_sl2_250m&vector=1

<https://earthexplorer.usgs.gov/>