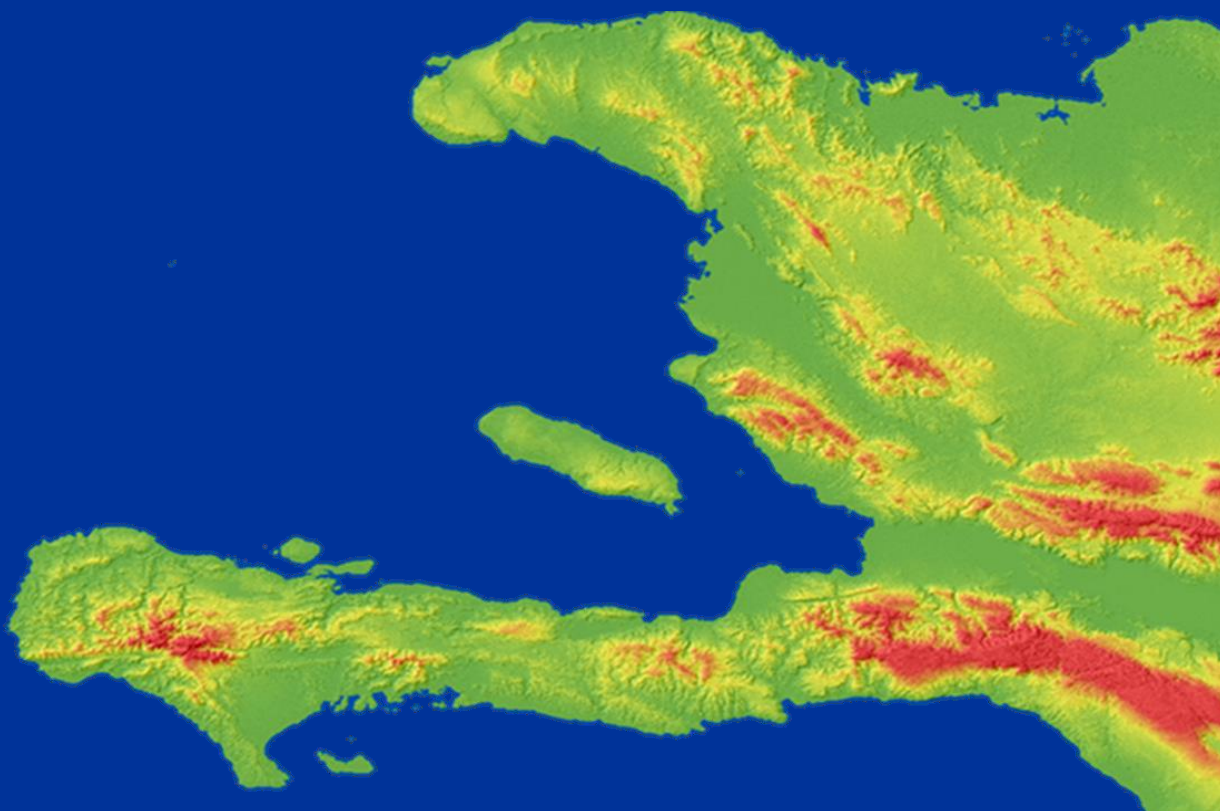


MANUEL PRATIQUE : CARTOGRAPHIE NUMÉRIQUE DES SOLS



DIEGO CADENA
MAYESSE DA SILVA
2016



IFAD
INTERNATIONAL
FUND FOR
AGRICULTURAL
DEVELOPMENT



CIAT

International Center for Tropical Agriculture
Since 1967 *Science to cultivate change*

MANUEL PRATIQUE DE CARTOGRAPHIE NUMÉRIQUE DES PROPRIÉTÉS DES SOLS

Diego Cadena, Mayesse da Silva

Centre International d'Agriculture Tropicale – CIAT

Ce document aborde les étapes du processus et les outils utilisés dans le cours d'initiation à l'utilisation de la cartographie numérique des sols réalisé par le Centre International d'Agriculture Tropical (CIAT) dans le cadre du projet «Cultures innovantes et technologies agricoles terrestres à Haiti» et financé par le Fond International de Développement Agricole (FIDA – sigle anglais IFAD)

Index

1)	Méthodologie et programmes requis.....	2
2)	Modèle numérique d'élévation (DEM)	2
3)	Traitement des variables environnementales	4
4)	Unités sols-paysages	12
5)	Élaboration des règles de cartographie utilisées avec SoLIM (Soil Land Inference Model)	13
6)	Création de cartes modèles avec SoLIM	15
7)	Générer des cartes des propriétés des sols	22
8)	Validation	23
9)	Stratégie d'échantillonnage	24
10)	Bibliographie.....	25

1) Méthodologie et programmes requis

Dans ce document sera présenté une méthodologie utilisant la logique diffuse pour la cartographie numérique des sols (Zhu,1997 ; Ashtekar et al 2014) pour déterminer la variabilité spatiale des propriétés du sol selon le modèle SCORPAN développé par McBratney et al 2003).

Dans le tableau ci-dessous, les programmes utilisés lors de la mise en œuvre :

Logiciel	Source
SAGA-GIS	http://www.saga-gis.org/en/index.html
Q-GIS	http://qgis.org/es/site/
SoLIM	http://SoLIM.geography.wisc.edu/software/downloadpage.htm
Excel/Open office	https://www.openoffice.org/es/descargar/
R	https://cran.r-project.org/bin/windows/base/
R- Studio	https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/

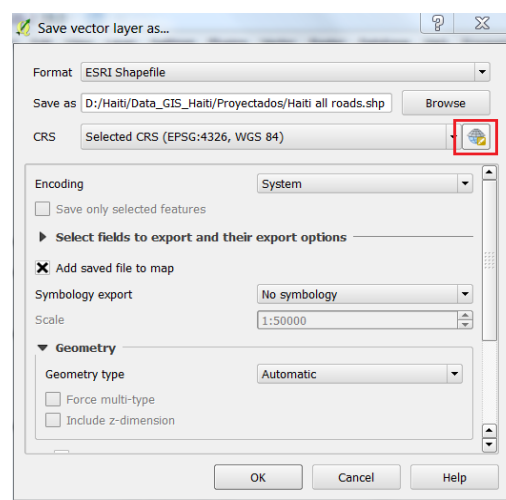
2) Modèle numérique d'élévation (DEM)

1. Correction du DEM

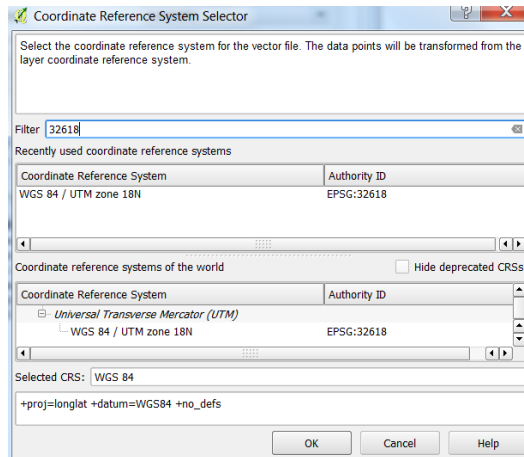
❖ Etape 1. Projection

Le système de référence devrait être défini comme WGS84/UTM Zone 18 N, id: 32618. Pour changer de projection on doit ouvrir et sauvegardez les configurations suivantes :

- Sélectionner l'option Save Vector Layer As....
- Sélectionner le type de format shp, le dossier de destination et ouvrez la fenêtre de CRS



Dans la fenêtre Coordinate Reference System Selector inscrire le code de référence pour Haïti 32618.



❖ Etape 2. Correction DEM

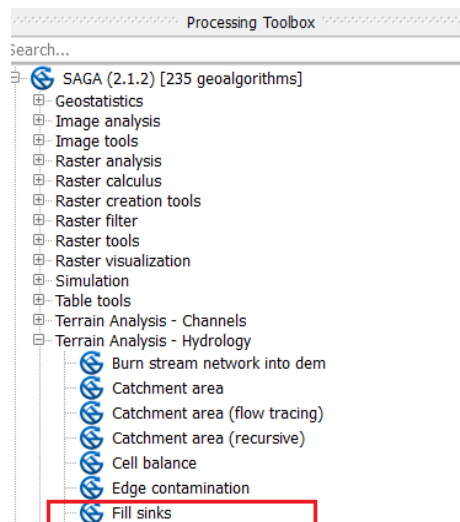
DEM (Digital Elevation Model en anglais) est un modèle numérique avec de l'information d'élévation, pour sa correction, il est nécessaire de prendre en compte que des dépressions peuvent se présenter et elles doivent être corrigées. Cela peut être fait depuis QCIS ou directement avec SAGA, les deux étant liées depuis QGIS, comme l'extension TAUDEM qui permet une correction en ultime recours.

DEM sans dépressions

D'entrée il est nécessaire d'utiliser le DEM, afin d'obtenir au final un DEM sans dépression ou ondulations.

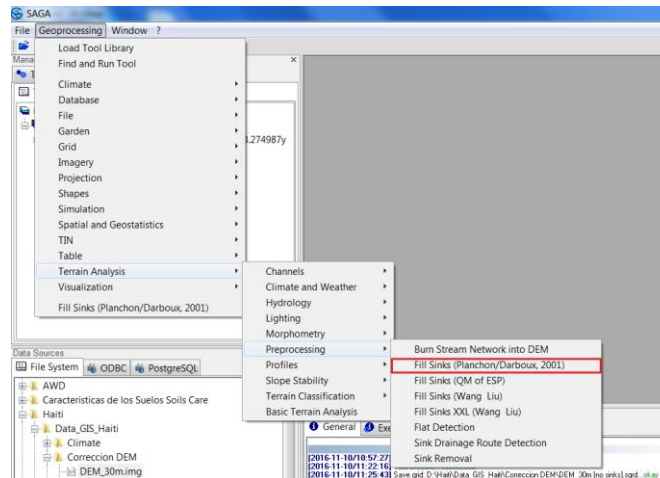
L'utilisation QGIS nous dirige vers la barre d'outils, puis il faut sélectionner

Processing /Toolbox / SAGA Geographical Algorithms / Terrain Analysis - Hydrology / Fill sink

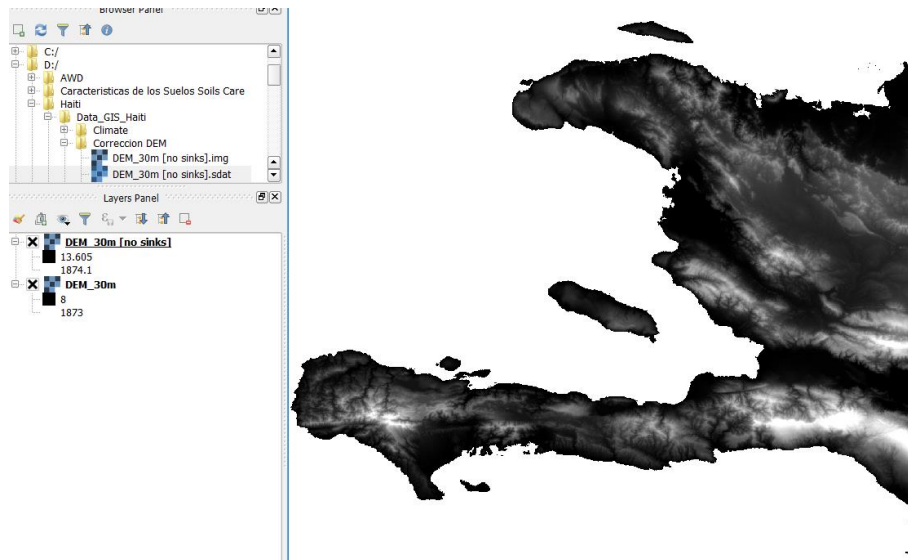


De manière identique cela est possible avec SAGA en utilisant le cheminement suivant.

Saga GIS: Geoprocessing / Terrain Analysis /Processing/Fill sink



C'est un outil très utile, parce qu'à l'usage il est pratique de travailler avec l'option suppression des dépressions. A travers elles, il n'y aura aucune fuite dans le cas d'une analyse hydrologique à l'aide de cette option qui travaillera de concert avec l'écoulement des eaux de ruissellement. Comme le montre la figure suivante, on constate une augmentation des seuils les plus bas. C'est l'indication de la réaction de l'algorithme de remplissage de dépressions.



Remarque : un autre élément pour la correction des dépressions est l'outil TauDEM (Analyse du terrain à l'aide de modèles numériques d'élévation), lequel s'obtient en complément du « Pic remove » (supprimer); pour supprimer des dépressions et garder la hauteur minimale du modèle numérique d'élévation.

3) Traitement des variables environnementales

Pour le cas d'Haïti il sera utilisé les données climatiques, géologique et topographique disponibles dans le dossier **Terrain Attributes**.

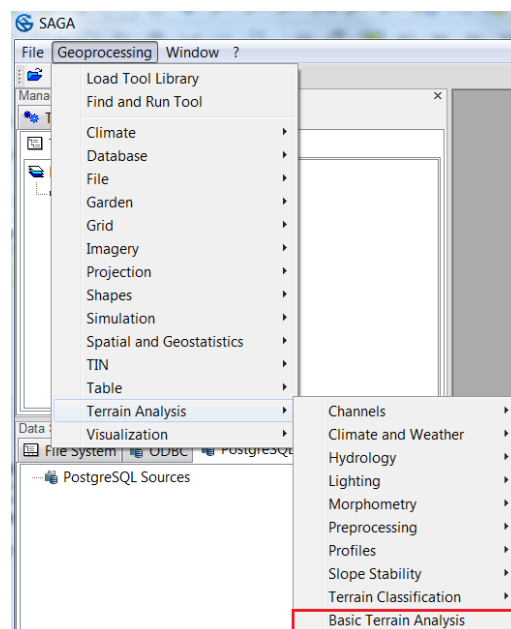
- **TOPOGRAPHIE**

Représentée par les attributs du terrain (TAs) mis au point et développés dans SAGA-GIS: slope, SAGA wetness index, profile and plan curvature, normalized height, valley depth.

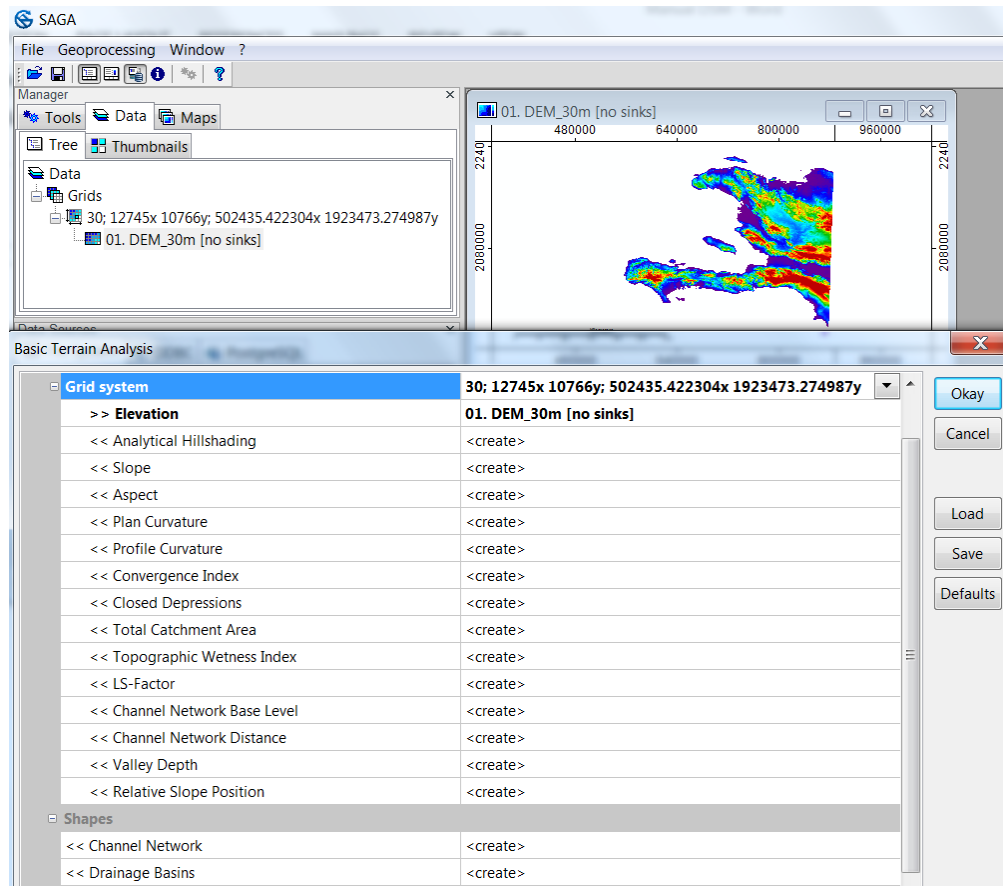
Avec SAGA et Q GIS il est possible de calculer les attributs du terrain (Tas) utilisés comme base par le DEM dans les algorithmes. Chacun des paramètres peut se calculer directement avec SAGA ou un par un avec QGIS. Il convient de préciser l'indice d'humidité inférieur d'algorithme sur SAGA Wetness Index. Il doit être calculé à part.

Avec la SAGA, il est possible de calculer à partir de l'outil

Geoprocessing/Terrain Analysis/Basic Terrain Analysis, comme il est indiqué ci dessous.

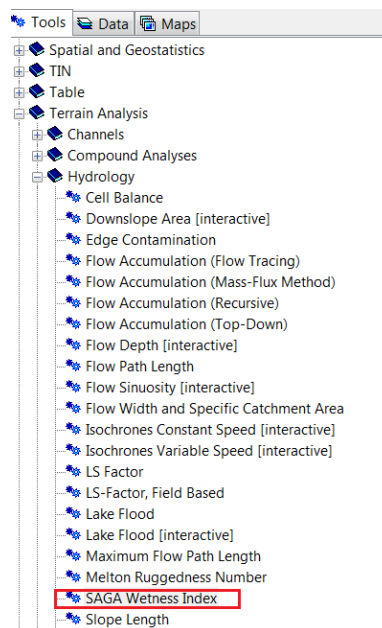


Après l'ouverture de la fenêtre "Basic Terrain Analysis" il faut renseigner la grille de travail et l'altitude correspondant au DEM déjà corrigé. Il faut cliquer sur OK et il se génère une série d'attributs du terrain où se trouvent ceux qui vont être utilisés : slope (indique l'angle d'inclinaison existant entre le vecteur à la surface d'un point et sa verticale) ; plan curvature (analyse les crêtes et les vallées, les valeurs positives indiquent les contours concave des cellules et les valeurs négatives les contours convexes) ; profile curvature (c'est la courbure de la surface dans le sens de la pente la plus prononcée) et valley depth (permet d'identifier les différentes verticales dans le relief).



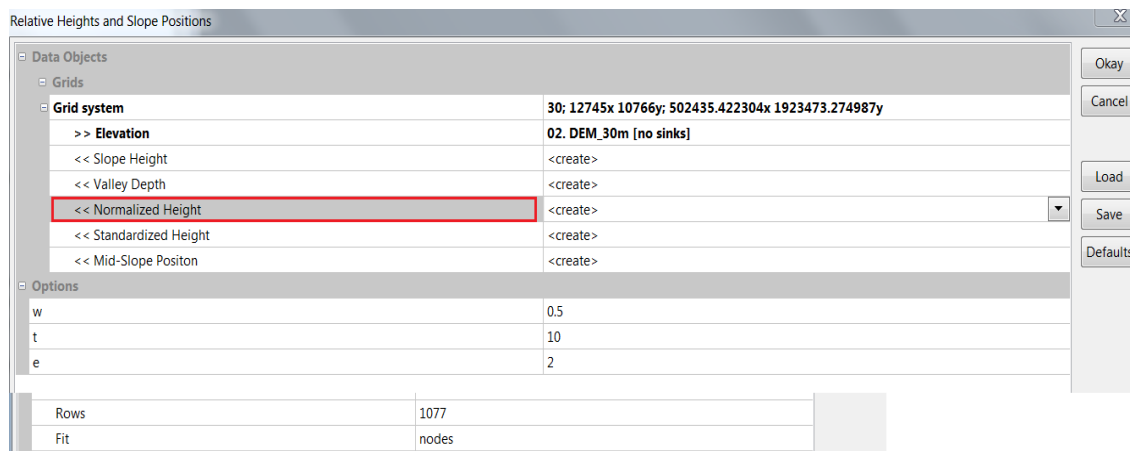
L'indice d'humidité (Saga Wetness index), peut se calculer depuis la base des géo-algorithmes de SAGA en suivant le cheminement suivant

Tools / Terrain Analysis / Hidrology / SAGA Wetness Index.

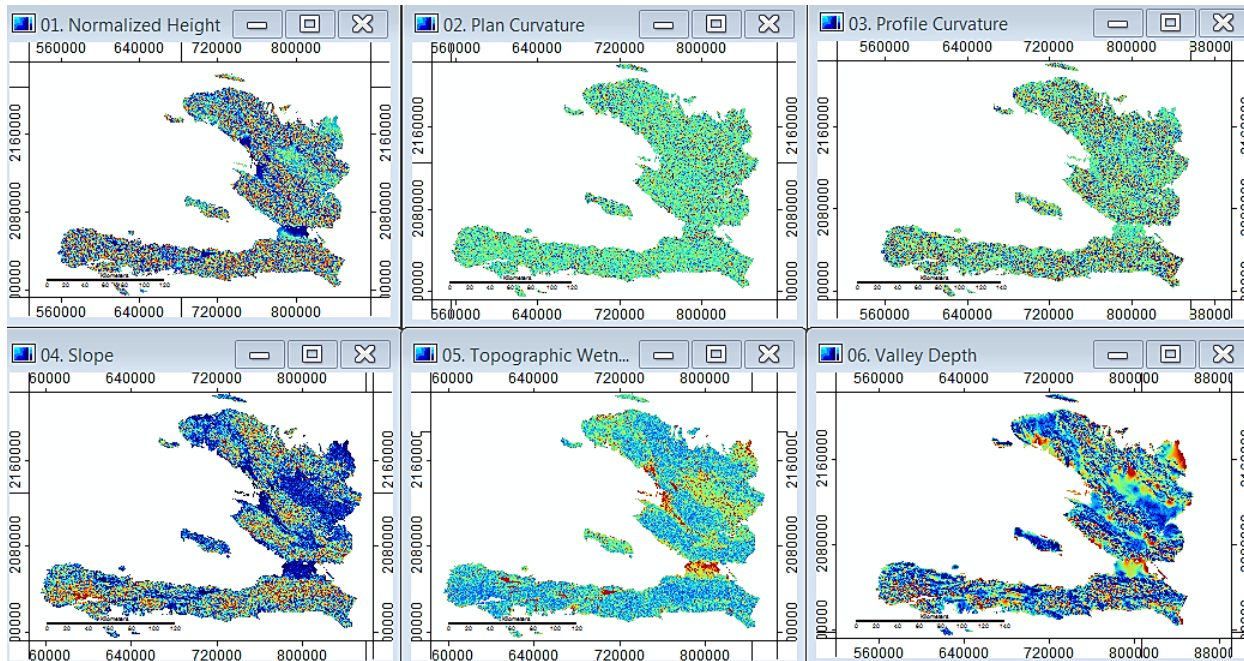


La hauteur standard est un autre des indicateurs (Normalized Height) permettant de connaître la hauteur relative du sol et peut être calculée à partir de la base des géo algorithmes de SAGA selon la route suivante

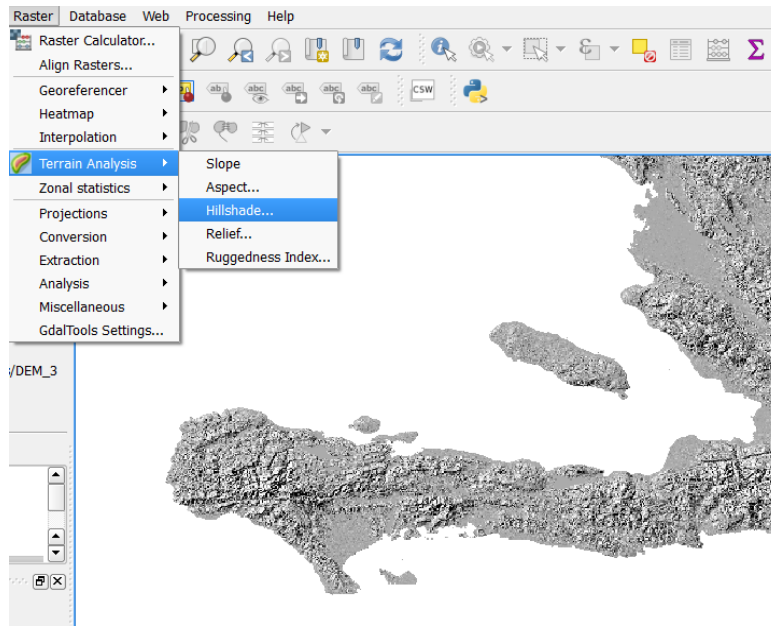
Tools / Terrain Analysis / Morphometry / Relative Heights and Slope Positions.



De cette manière se consolident les attributs du terrain qui seront utilisés pour connaître le comportement du relief, entre autres éléments. Il est important de tenir compte qu'avec le logiciel SAGA, l'exécution des géo-algorithmes de SAGA wetness index et normalized height prend plus de temps.



Pour l'aider à la visualisation du terrain nous allons générer le hillshade à partir du DEM. Le géo algorithme appliqué dans QGIS pour le calcul de Hillshade est également possible depuis la barre d'outils dans l'option Raster/ Terrain Analysis/ Hillshade, comme le montre l'image.

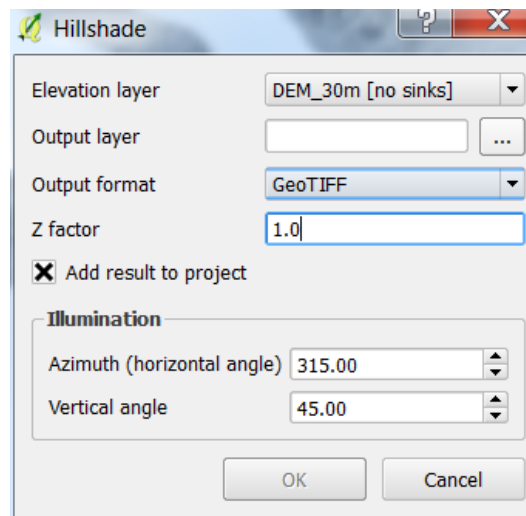


Dans QGIS il est possible de faire des configurations d'éclairage idéal pour un meilleur affichage. Dans ce cas entrer les données suivantes et générer le Hillshade.

Facteur Z = 1

Azimuth = 315

Altitude = 45



Enfin les attributs du terrain pourront être utilisés à l'étape 4 pour la génération du pôle inférieur des paramètres de la forme du terrain.

- **CLIMAT**

Pour identifier les variations climatiques comme c'est le cas dans le pays nous allons utiliser l'indice IEP (Indice d'Efficacité des Précipitations) – PEI (Precipitation Effectiveness Index) en anglais.

Création du PEI

Thornthwaite (1931) crée le concept d'indice d'efficacité des précipitations (PEI), indice qui représente l'efficacité de la croissance des plantes selon les estimations de l'humidité ; il se calcule à partir des valeurs mensuelles de précipitations et d'évaporation. L'évaporation est représentée en terme de température.

$$PEI = \frac{P}{E} = 11.5 \left(\frac{P}{T - 10} \right)^{\frac{10}{9}}$$

D'où : P = précipitation mensuelle en pouces (inches) et T = température moyenne en degré ° F

Étapes à suivre pour le calcul du PEI en Studio R

Au départ, nous avons installé et appelé les bibliothèques pour l'analyse de données spatiales (raster, sp) dont nous avons besoin dans ce cas:

```
install.packages("ráster")
install.packages("sp")
require(ráster)
require(sp)
```

Par la suite nous avons consulté les archives raster sous la direction des dossiers de stockage créés précédemment.

Exemple: Est indiqué dans ce cas la variable des précipitations directement dans le dossier de stockage, dans lequel chacun des raster contient le nom "**preci_month_**" rangée de 1 à 12 correspondant au nombre de mois dans l'année, ainsi que l'indicatif du format tif..

```
preci=ráster(paste("Dir.../preci_month_",i,".tif",sep=""))
```

Equation IEP.PEI, Thornthwaite (1931) : en reprenant le calcul ont procède à la résolution de l'équation en tenant compte:

- la température doit être en °F (Fahrenheit) > $32 + (Tmax \text{ or } Tmin \text{ in } ^\circ C * 1.8)$
- la précipitation en pouces (inches) > $Preci (mm) * 0.0394$
- on doit prendre en compte la température médiane > $(Tmax + Tmin)/2$


Poursuivant avec le processus on applique l'équation (tenir compte que $10/9 = 11.1$ et que l'on stocke les archives destinées au dossier créé précédemment avec la commande *writeRaster*, comme il est indiqué par la suite :

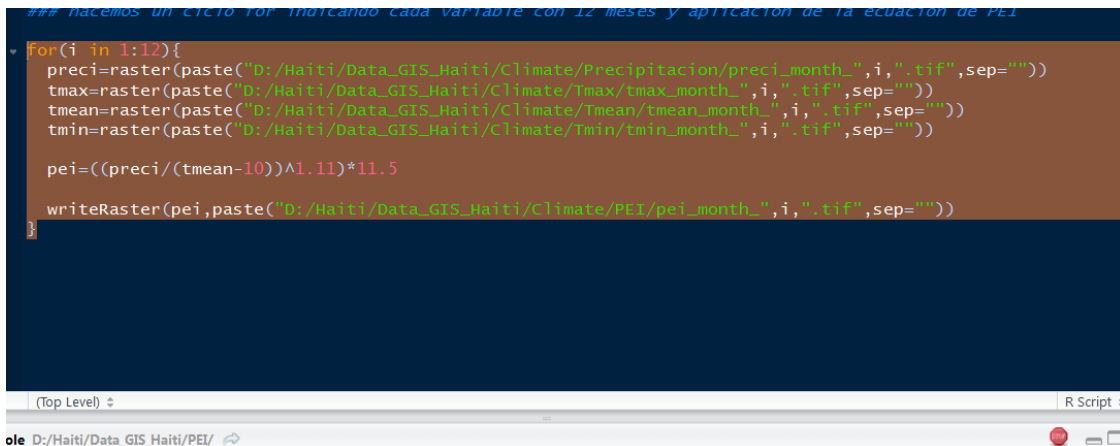
```
PEI=((preci/(tmean-10))^1.11)*11.5)
```

```
writeRaster(pei,paste("Dir.../pei_month_",i,".tif",sep=""))
```

Finalment se crée un cycle for qui automatise les PEI mensuels.

```
for(i in 1:12){
  preci=raster(paste("Dir.../preci_month_",i,".tif",sep=""))
  tmean=raster(paste("Dir.../tmean_month_",i,".tif",sep=""))
  pei=((preci/(tmean-10))^1.11)*11.5
  writeRaster(pei,paste("Dir.../pei_month_",i,".tif",sep=""))
}
```

En exécutant le code on obtient le PEI mensuel, durant l'exécution du code on observe le symbole de charge R  qui indique que le processus a été accepté, pour finir on procède à l'addition des PEI accumulés au cours de l'année.

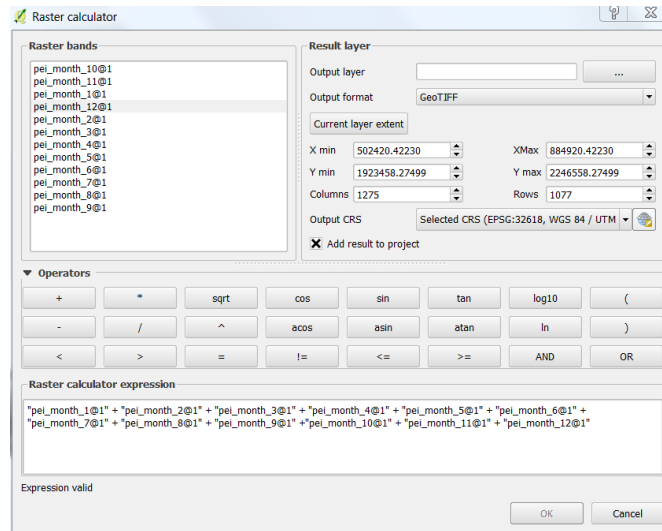


```
## hacemos un ciclo for indicando cada variable con 12 meses y aplicación de la ecuación de PEI
for(i in 1:12){
  preci=raster(paste("D:/Haiti/Data_GIS_Haiti/Climate/Precipitation/preci_month_",i,".tif",sep=""))
  tmax=raster(paste("D:/Haiti/Data_GIS_Haiti/Climate/Tmax/tmax_month_",i,".tif",sep=""))
  tmean=raster(paste("D:/Haiti/Data_GIS_Haiti/Climate/Tmean/tmean_month_",i,".tif",sep=""))
  tmin=raster(paste("D:/Haiti/Data_GIS_Haiti/Climate/Tmin/tmin_month_",i,".tif",sep=""))

  pei=((preci/(tmean-10))^1.11)*11.5

  writeRaster(pei,paste("D:/Haiti/Data_GIS_Haiti/Climate/PEI/pei_month_",i,".tif",sep=""))
}
```

In fine on réalise une moyenne de l'indice PEI pour connaître le comportement annuel de celui-ci en additionnant la somme les PEI mensuels depuis QGIS avec la mise en œuvre de l'outil *Ráster > Ráster Calculator*.



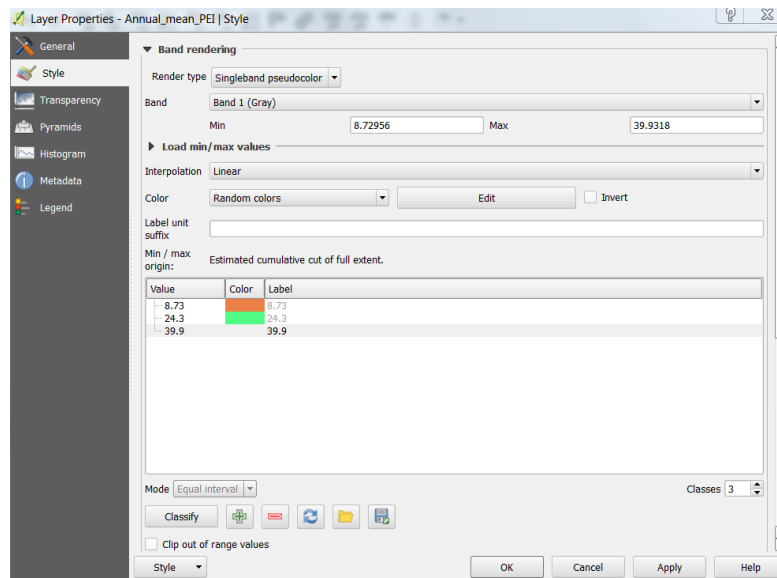
Après avoir obtenu le comportement annuel il est possible de classer la région en fonction de son rang car l'indice correspond à la classification climatique de Thornthwaite (1931).

Tableau : Classement des régions climatiques Thornthwaite (1931).

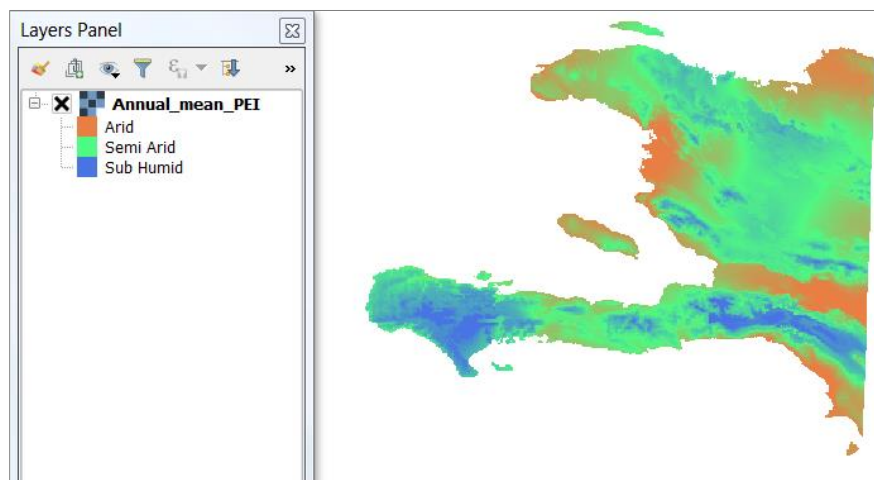
PE Index	Climate
More than 128	Wet
64 - 127	Humid
32 - 63	Sub-humid
16 - 31	Semi-arid
Less than 16	Arid

Selon la classification des régions climatiques de Thornthwaite (1931), tableau 1 ; nous avons exécuté le processus de classification utilisant QGIS comme décrit par la suite :

- Ouvrez la boîte de dialogue Propriétés, faites un clic droit dans l'arbre et sélectionnez l'option Propriétés.
- Change à l'onglet style.
- Modifier le type de convertisseur à Singleband pseudocolor et utiliser les options présentées par défaut.



- Cliquez sur le bouton Classer pour générer un classement par couleur nouvelle et cliquez sur Accepter pour appliquer ce classement PEI.



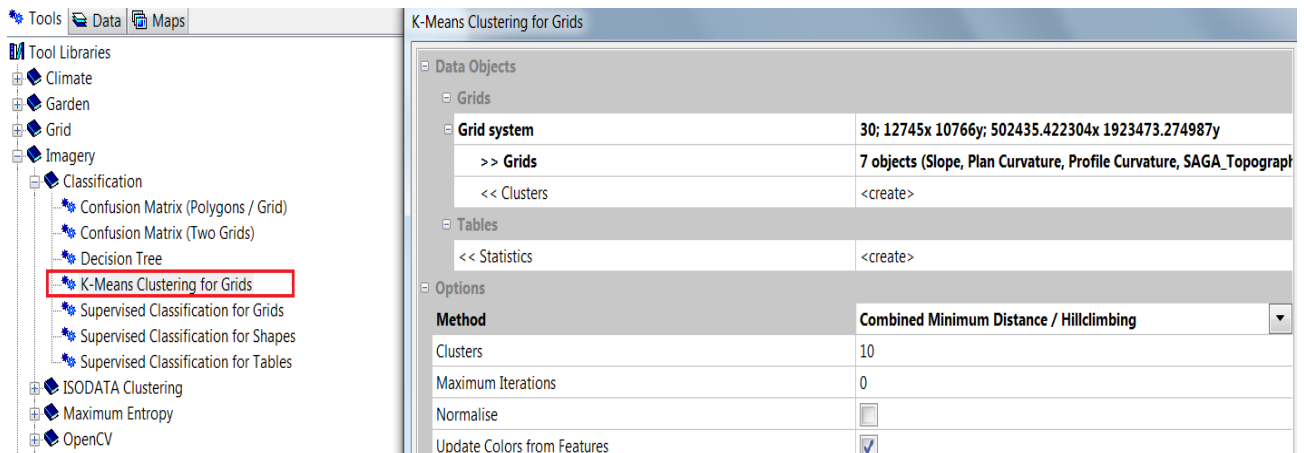
4) Unités sols-paysages

Les variables topographiques et climatiques générés précédemment plus la carte de la géologie seront combinées pour créer des unités sols-paysages qui seront utilisées dans les étapes suivantes. Les TAs seront regroupés selon la forme du paysage par le biais du clustering. L'analyse du groupement ou le clustering est l'affectation d'une série d'observations en sous-ensembles (appelés grappe ou cluster) de manière à ce que les observations du même groupe soient similaires dans un certain sens. Grâce au logiciel SAGA, sous le cheminement suivant on générera le Clustering de regroupement pour les attributs du terrain.

Tools /Imagery / Clasifcation /K- Means Clustering for Grids

Les attributs du terrain utilisés sont :

- ✓ Slope
- ✓ Plan Curvature
- ✓ Profile Curvature
- ✓ SAGA wetness index
- ✓ Normalized Height
- ✓ Valley Depth



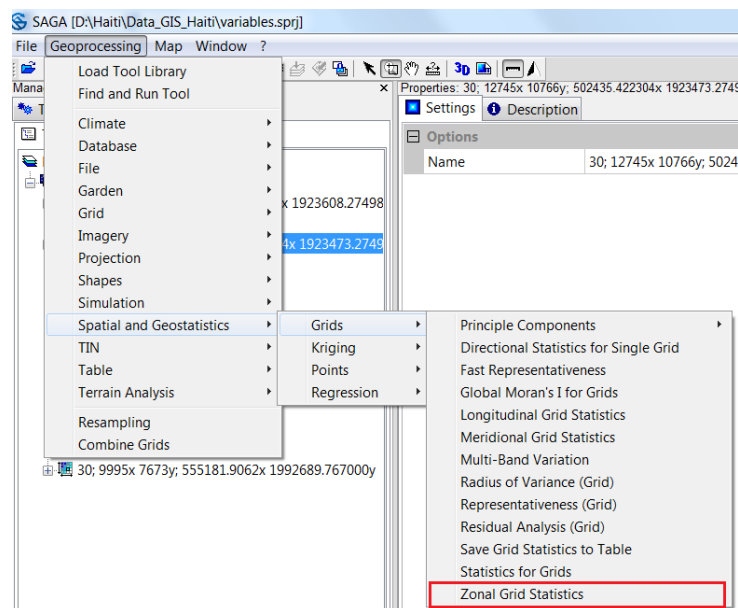
Finalement on obtient le cluster (grappe) avec l'information des attributs de manière à ce que les formes du terrain convergent entre elles, indiquant les zones de plus grand regroupement en vertu de la similitude et la distance. En terminant le processus on indiquera pour chaque groupe les indicateurs d'écart-type et dans ce cas ont a généré 5 clusters (grappes). A partir de ce point, l'information est classée et organisée sous la zone d'études, la carte est réduite parce que les informations ne s'étendent pas sur l'ensemble du territoire national. Afin d'unifier les facteurs climatiques, les données topographiques et géomorphologiques de la zone d'étude, les informations se trouveront dans le dossier, **Data Les Cayes**.

5) Élaboration des règles de cartographie utilisées avec SoLIM (Soil Land Inference Model)

SoLIM génère des cartes du terrain basé sur les règles et la logique diffuse en adoptant une approche basée sur les connaissances nécessaires pour prédire les valeurs similaires. Les deux entrées fondamentales pour SoLIM sont : les données sur les variables environnementales sélectionnées (covariables) en rapport avec les conditions du sol dans la zone (stockés dans la base de données SIG) et l'expertise (règles) qui permet de différencier les différents sols (unité sols-paysages) selon sa relation avec les variables environnementales.

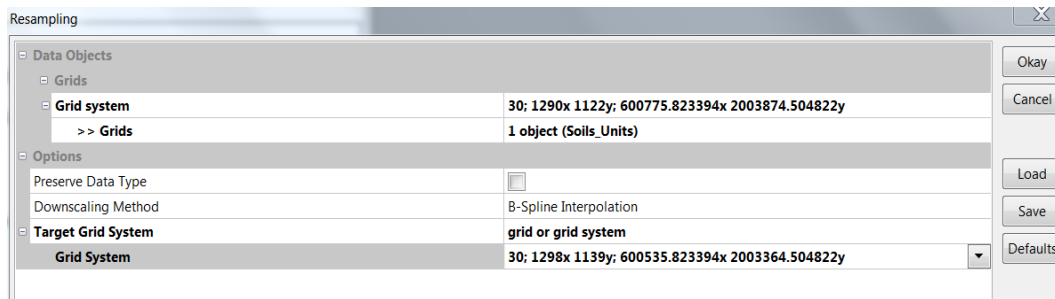
Les règles peuvent être définies de façon différente selon les informations disponibles et les expertises des relations sols-paysages. Pour ce cours, les règles seront élaborées à l'aide de l'outil de statistiques de zone (zone statistique) d'où seront tirées les valeurs moyennes et le détournement des TaS pour chaque unité sols-paysages. Dans ce processus, on utilisera le logiciel SAGA avec le cheminement suivant :

Geoprocessing / Spatial and Geostatistics / Grids / Zonal Grid Statistics



Remarque : Il est nécessaire de disposer de toutes les variables dans la même résolution et la même extension, ce pourquoi il faut réaliser un ajustement Resampling à l'aide de l'outil SAGA. Le cheminement sera le suivant :

Geoprocessing / Grid / Grid System/Resampling, como se muestra a continuación:

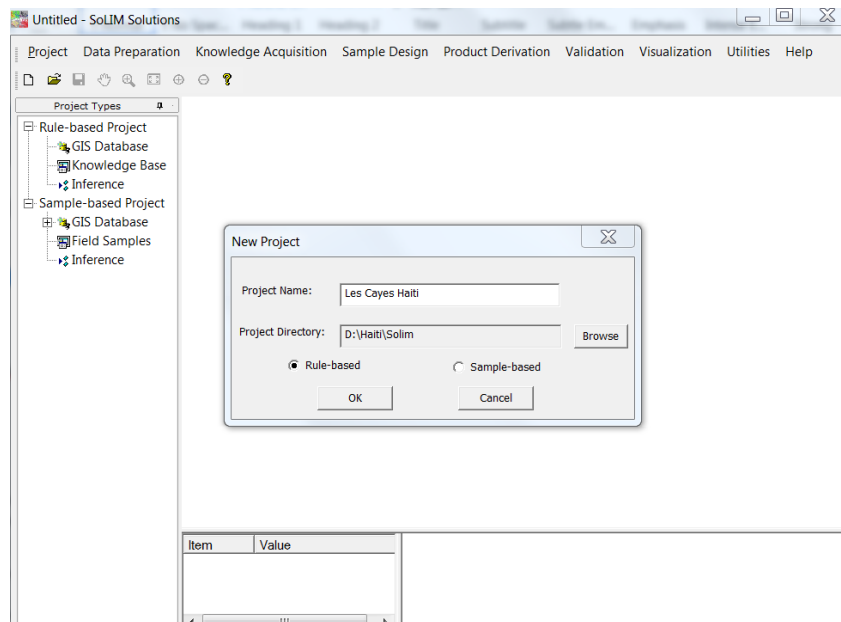


En poursuivant l'analyse statistique on obtient finalement le tableau suivant, lequel contient la description des statistiques pour les TAs correspondant à chaque unité sols-paysages. Il est possible d'enregistrer cela au format txt, csv ou dbf. Pour utiliser SoLIM à l'étape 6 uniquement on prendra en compte la moyenne et les attributs de l'écart-type du terrain.

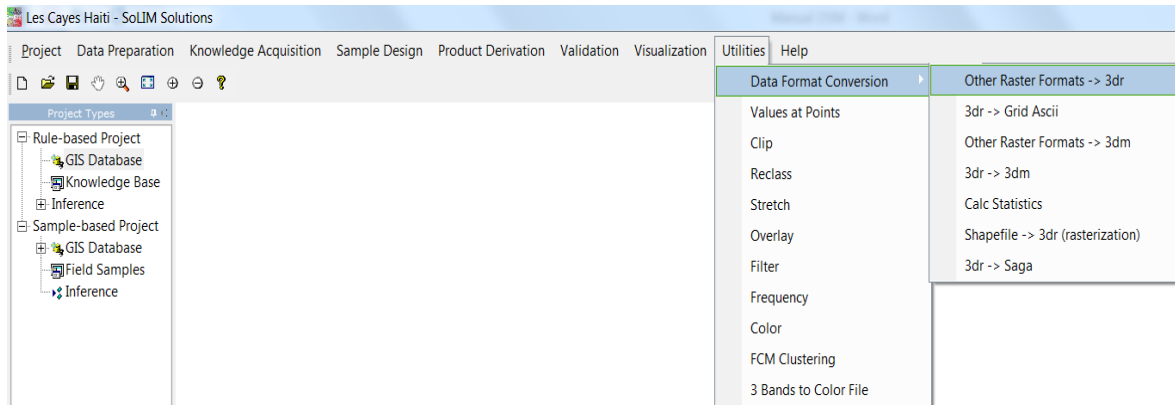
01. Zonal Statistics																
	Soils_Unit	Count	UCU	NormalizEN	NormalIMIN	NormalIMAX	NormalMEAN	NormalSTDDEV	NormalISUM	Plan CurvN	Plan CuMIN	Plan CuMAX	Plan CMEAN	PlanSTDDEV	Plan CuSUM	Profile Ct
1	11	68	68	0.01145	0.19419	0.048417	0.038071	3.292374	68	-0.09706	0.012346	-0.012041	0.017621	-0.818804	6	6
2	12	20238	20238	0.022383	0.964386	0.444287	0.186855	8991.48882	20238	-0.246422	0.370005	0.003761	0.022997	76.11266	2023	2023
3	13	11147	11147	0.019186	0.954186	0.232691	0.185745	2593.807799	11147	-0.138632	0.240065	0.001104	0.017176	12.30557	1114	1114
4	14	11744	11744	0.038116	0.961258	0.283706	0.220605	3331.846316	11744	-0.360428	0.253529	0.002272	0.019236	26.679129	1174	1174
5	15	7803	7803	0.056685	0.971278	0.621285	0.181278	4847.888705	7803	-0.29197	0.305188	0.005951	0.020779	46.432776	780	780
6	16	22591	22591	0.021962	0.956889	0.329351	0.195406	7440.365117	22591	-0.170283	0.304981	0.001585	0.019902	35.806206	2259	2259
7	17	1924	1924	0.143157	0.970111	0.795023	0.133309	1529.624845	1924	-0.057057	0.427423	0.014759	0.024395	28.396625	192	192
8	18	15672	15672	0.036979	0.971984	0.466046	0.222401	7303.878336	15672	-0.25271	0.280793	0.00333	0.02154	52.18838	1567	1567
9	19	1242	1242	0.019583	0.71865	0.169799	0.107916	210.89037	1242	-0.192963	0.11024	-0.0031	0.01563	-3.850569	124	124
10	21	2981	2981	0.010448	0.893584	0.194523	0.19454	579.872146	2981	-0.414451	0.114595	-0.005142	0.017491	-15.327916	298	298
11	22	14947	14947	0.020879	0.969544	0.464209	0.236173	6938.530277	14947	-0.187985	0.307359	0.000082	0.014057	1.229816	1494	1494
12	23	14121	14121	0.015966	0.944532	0.305909	0.225421	4319.735066	14121	-0.245081	0.180424	-0.00104	0.014283	-14.680709	1412	1412
13	24	13247	13247	0.019802	0.971934	0.367652	0.242842	4870.279603	13247	-0.192343	0.20664	-0.000684	0.013745	-9.066056	1324	1324
14	25	19790	19790	0.025899	0.985944	0.602002	0.227215	11913.616189	19790	-0.12525	0.194145	0.00061	0.014315	12.081555	1979	1979
15	26	12380	12380	0.023845	0.962788	0.41736	0.244804	5166.912339	12380	-0.362892	0.131873	-0.000727	0.014235	-9.004115	1238	1238
16	27	27377	27377	0.065745	0.993412	0.788553	0.170969	21588.22086	27377	-0.413837	0.353813	0.006618	0.019433	181.172901	2737	2737
17	28	15938	15938	0.024138	0.974455	0.536843	0.224215	8556.210665	15938	-0.369899	0.156799	0.000628	0.01468	10.01626	1593	1593
18	29	6085	6085	0.012907	0.954995	0.237682	0.201244	1446.29583	6085	-0.248591	0.303723	-0.002632	0.013137	-16.014678	608	608
19	31	3055	3055	0.009445	0.859593	0.152207	0.151578	464.992194	3055	-0.306773	0.182104	-0.004326	0.014704	-13.215199	305	305
20	32	59337	59337	0.014545	0.985716	0.380464	0.212595	22575.571359	59337	-0.353054	0.268565	0.00052	0.019094	30.830972	5933	5933

6) Création de cartes modèles avec SoLIM

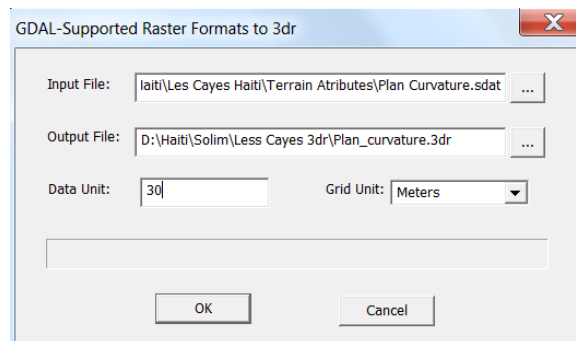
Au départ on doit créer un projet, indiquer nom et adresse, par la suite on sélectionne l'option "Rule-based" et on valide OK



SoLIM nécessite pour sa lecture de données, la conversion des données "raster" au format 3dr, pour cela on doit aller dans la barre outils, sélectionner Utilities / Data Format Conversion / Other Raster Formats → 3dr et convertir chacun des facteurs topographiques.



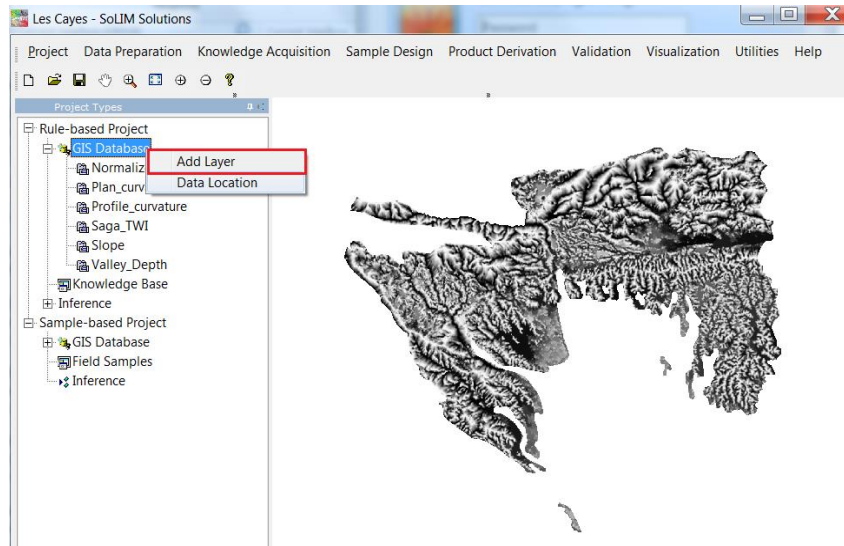
Au final on doit indiquer la localisation des archives Raster de chaque attributs du terrain et indiquer les unités



Pour expliquer cet exemple on prend la zone de Les Cayes (Haïti), SoLIM est un logiciel qui présente une limite dans le poids des données. Quand le logiciel est dépassé il apparait le message “Out of memory”, C'est pour cela que l'on doit réduire l'aire du Raster.

On doit convertir chacune des données du format Raster au format 3dr puis continuer avec la création de la base de données SIG et les paramètres topographiques, qui seront chacun des covariables dans le logiciel

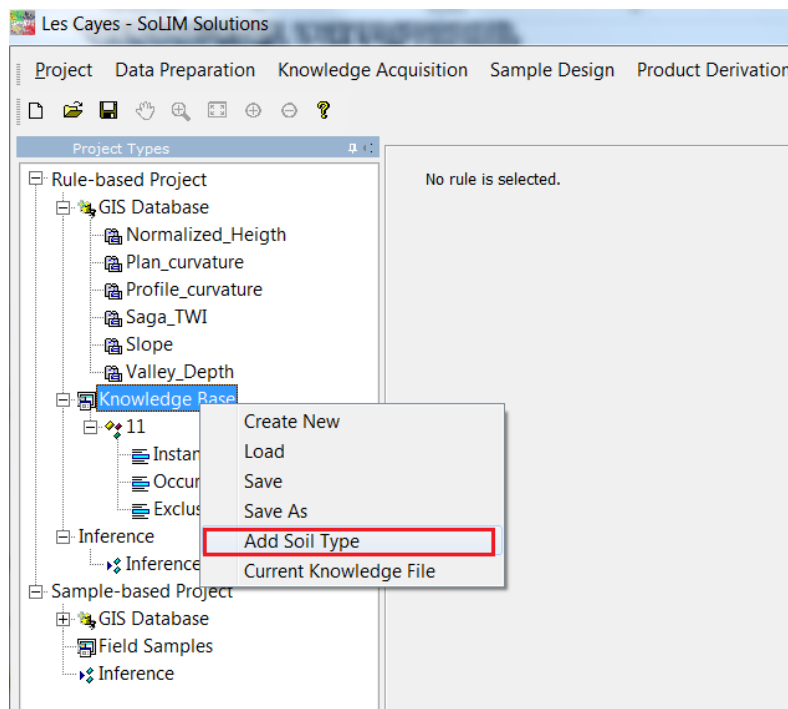
Ajoutez-les seulement en faisant un clic droit sur la base de données GIS Database / Add Layer.



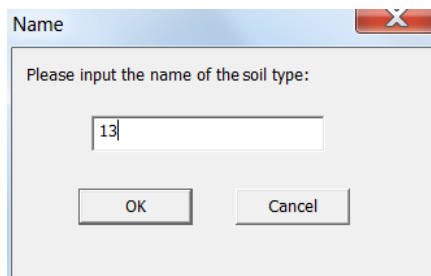
- **Ajouter différents types de sols**

Dans le panneau de gauche du projet, cliquer avec le bouton droit de la souris dans le nœud “Knowledge Base” et sélectionner “Add Soil Type” dans le menu émergeant.

Il est important d'établir préventivement la codification des unités des sols. On doit réaliser cette classification pour chaque type géologique, géomorphique ou climatique si besoin, et créer chacune des valeurs entières enchainées entre elles.

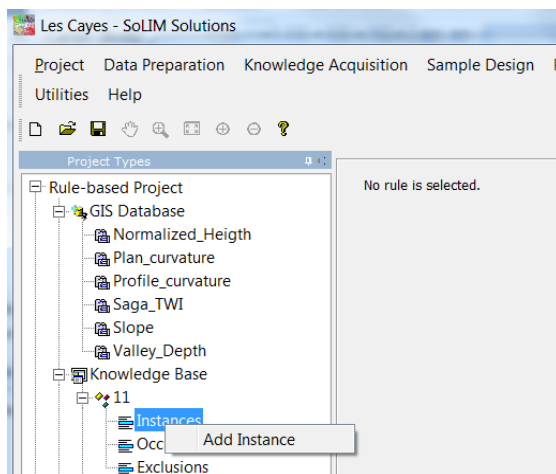


Cela permet d'afficher une boîte de dialogue pour spécifier le nom du type de sol. Entrer le numéro correspondant à chaque unités des sols : 11,12,...45 et cliquer "OK".



Chaque unité ou type de sol est ajouté à la base de données. Déployer le nœud du type de sol, on voit que se créent trois sous-nœuds : requêtes, occurrences, exclusions. Ils sont utilisés pour stocker différents types de connaissances.

Les paramètres environnementaux ont des effets dans toute la zone de cartographiée, donc il n'y a besoin que d'une requête pour représenter le contenu des connaissances. (Connaissances globales) dans la base de données. Cliquer avec le bouton droit dans le nœud "Requête" sous le nœud "11" et sélectionner "Ajouter requête" dans le menu émergent.



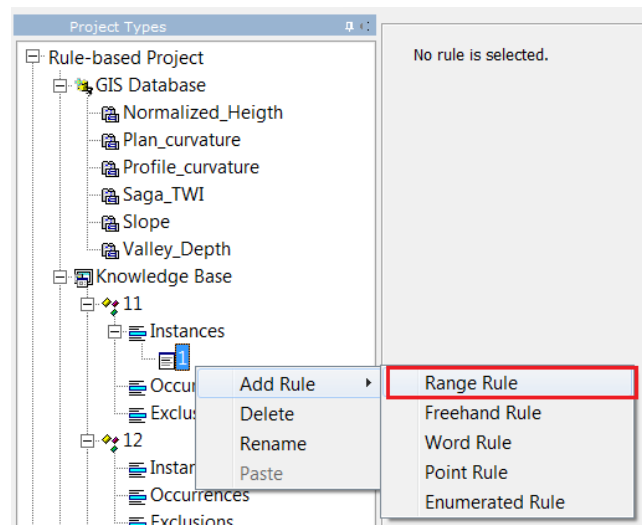
Cela fera apparaitre un cadre de discussion qui permettra d'introduire le nombre de requête. Entrer "1" et cliquer sur "Accepter". Il se créera une nouvelle requête en blanc.

- **Ajouter des règles (Rule Based approach)**

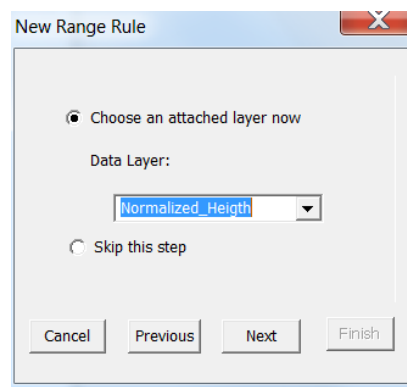
Les covariables s'utilisent dans les connaissances sols-paysages pour chaque type de sol. C'est pourquoi, la tâche suivante sera de créer des règles pour chacune d'elles.

Exemple :

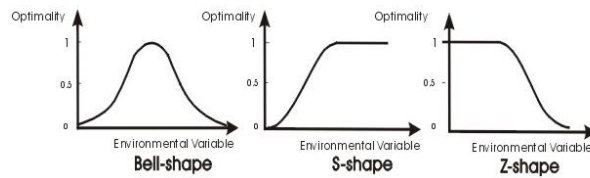
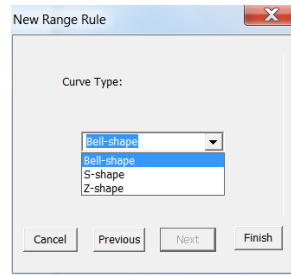
Nous pouvons utiliser la règle de la gamme pour exprimer les connaissances dans chaque covariable. Agir avec un clic droit sur le nœud 'Instance1". Dans le menu émergent choisir "ajouter règle" et puis sélectionner "règle de gamme" (range rule).



Sélectionner "Choose an attached now" (choisir un lien maintenant), ensuite sélectionner "slope" (pente) dans le menu déroulant "Data Layers", ensuite cliquer sur "Next" (suivant). Cela permettra au moteur d'inférence de lier la règle définie avec toutes les données SIG "pente" qui ont été définie précédemment dans cette même base de données.

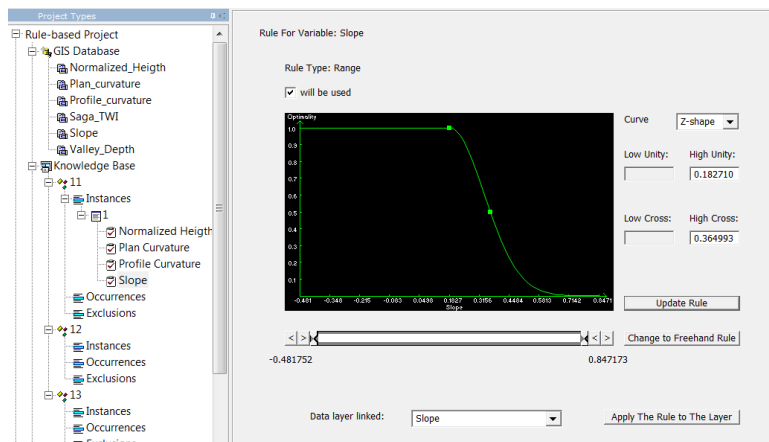


Pour la suite on utilise la table des données statistiques et on analyse chaque règle en tenant compte de la distribution normale des données, de manière à ce qu'il soit possible de comprendre le comportement de la courbe qui serait de forme "Bell-shape, S- shape ou Z- shape" (les données doivent être analysées à partir des résultats obtenus dans l'analyse des zones statistiques).

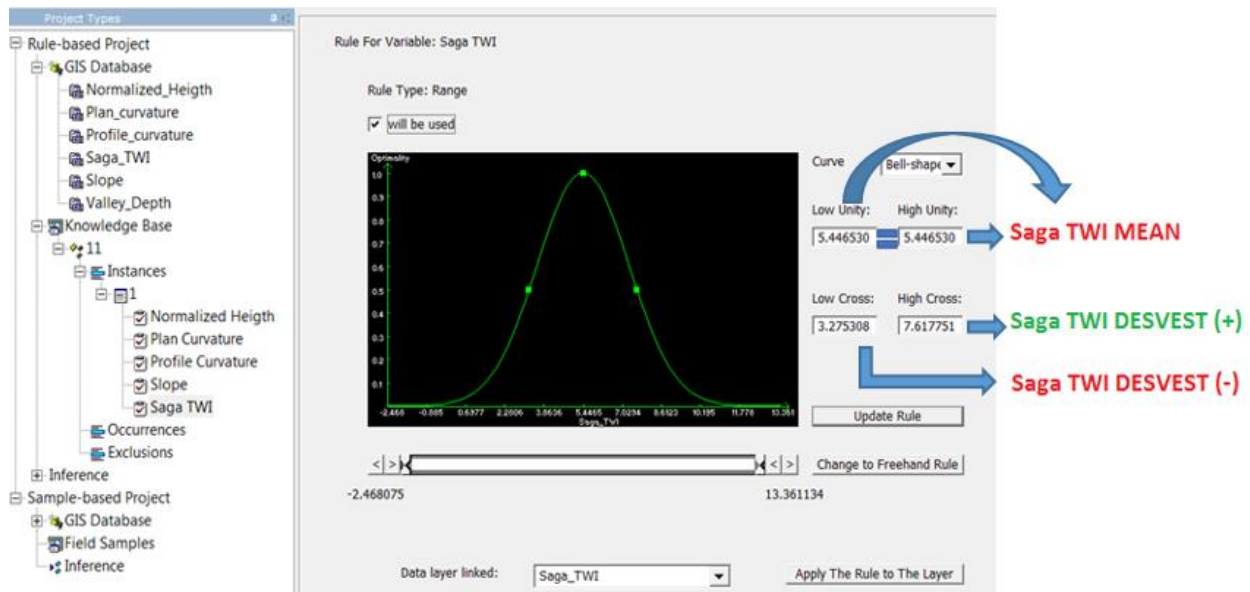


Visualisation depuis SoLIM

Slope: Z – Shape



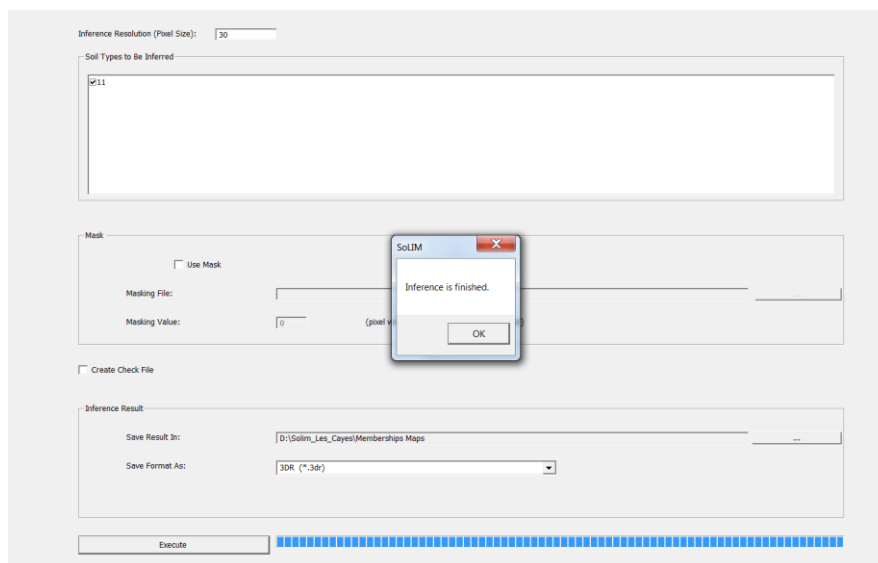
Saga TWI – Bell Shape



Maintenant que l'on a codé les connaissances sur les conditions environnementales du sol comme principe. L'on peut répéter le processus pour d'autres types de sol. Ne pas oublier de sauvegarder.

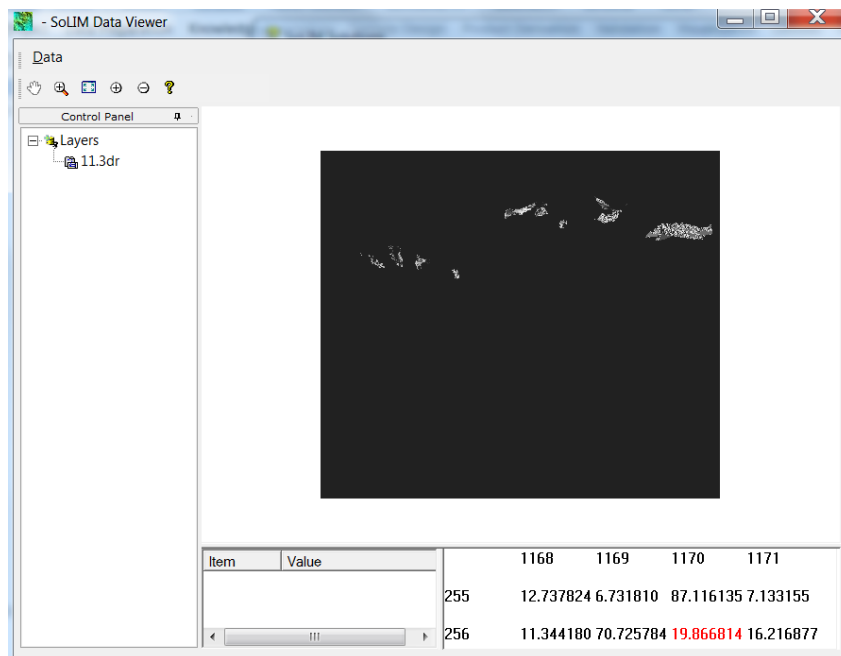
L'étape suivante est d'exécuter une inférence en utilisant la connaissance codée pour produire la carte de similitude pour chaque unité sol-paysage. Cliquer sur "Inférence" pour le déployer. Sous le nœud, cliquer sur "Inférence", la vue va changer à l'interface de l'inférence.

A l'affichage de la fenêtre on observe la liste des unités de sols. Dans ce cas c'est l'unité 11, l'option pour mettre en œuvre n'importe quel masque et enfin l'endroit où l'on a enregistré la carte de l'inférence. Exécuter et l'on obtient le résultat.



Pour visualiser la carte de similitude crée, l'on peut utiliser l'outil SoLIM Data Viewer jointe au dossier du logiciel, continuer à ajouter la carte d'adhésion, dans le dessin d'après on observe le résultat obtenu précédemment de l'unité de sol 1. L'on peut également utiliser l'outil de conversion au format ASCII pour l'afficher sur d'autres logiciels, on utilise l'adresse suivante :

Utilities / Data Format Conversion / 3dr → Grid Ascii



7) Générer des cartes des propriétés des sols

Sélectionner dans la barre d'outils Product Derivation / Property Map, pour créer la carte des propriétés des sols. Pour le développement des cartes des propriétés il est nécessaire d'avoir les points de prélèvement avec des valeurs in situ.

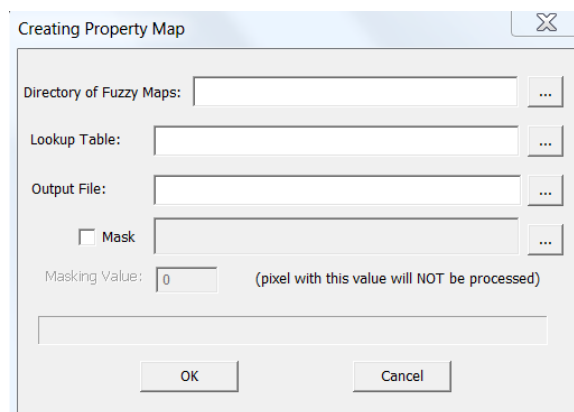
On doit entrer les données de la manière suivante :

“Répertoire des résultats” c'est le répertoire où est stocké les “Fussy” ou “carte d'adhésion” précédemment calculées.

La “Table de recherche” (look table) est l'archive qui contient les valeurs de la propriété du sol que l'on veut cartographier pour chacune des unité sol-paysage. La table de recherche devra être noter ainsi :

<i>Type de sol 1</i>	<i>valeur 1</i>
<i>Type de sol 2</i>	<i>valeur 2</i>

Le nom du type de sol est le nom de la carte de similitude (sans suffixe .3dr) dans le répertoire des résultats et les valeurs correspondantes aux données de terrain pour la propriété que l'on souhaite cartographier à l'intérieur de chaque unité de sol.



8) Validation

Sélectionner Validation / Property Validation, l'on peut créer un rapport de précision pour la carte des propriétés, évaluer avec des points de prélèvement sur le terrain (utiliser une banque de données différentes de celle utilisée pour créer la carte de propriétés).

L'archive de la liste des points observés contient les informations sur les sites d'échantillonnage. Une archive de point a le format suivant.

<i>PointID</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Property Value</i>
<i>Index 1</i>	<i>X1</i>	<i>Y1</i>	<i>propriété 1</i>
<i>Index 2</i>	<i>X2</i>	<i>Y2</i>	<i>propriété 2</i>

La première ligne contient les en-têtes de colonnes. La première colonne contient les identificateurs assignés aux sites d'échantillonnage. Xs et Ys sont les coordonnées des points. "Property Values" sont les valeurs des propriétés observées sur les sites d'échantillonnage.

- Le fichier cartographique des propriétés doit être au format .3dr.
- La taille du voisinage défini une fenêtre sur laquelle on récupère les propriétés médianes en tant que valeur de propriété déduites.

Le résultat est un rapport de précision qui contient 4 parties d'information statistique et la liste des points :

1. *RMSE (Root Mean Squared Error)*
2. *Agreement Coefficient*
3. *Mean Absolute Error*

9) Stratégie d'échantillonnage

Il existe différentes manières de définir la stratégie d'échantillonnage pour la cartographie numérique. Dans ce cours, on va utiliser la stratégie de l'échantillonnage conditionné Latin Hypercube (cLHS) selon Minasny et McBratney (2006). cLHS est une procédure aléatoire stratifiée et efficace à l'époque des variables d'échantillon avec une distribution multivariée. Son approche repose sur des modèles où prime la variation spatiale et sa prédiction. Le cLHS peut être exécuté en R ou utilisé un plugin qui fonctionne sous ArcGIS.

Il est nécessaire de tenir compte avant d'exécuter l'outil :

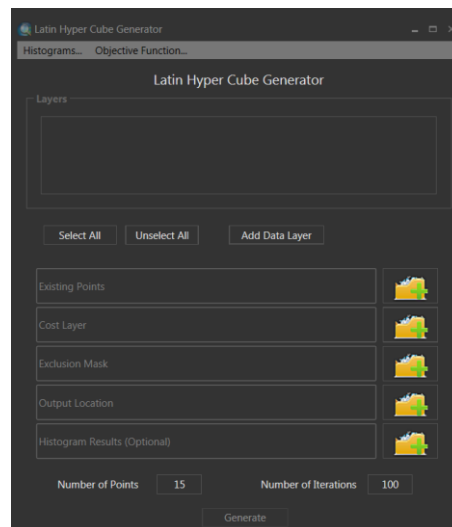
- Toutes les données raster doivent couvrir la même extension
- Toutes les données raster doivent être de la même projection ou l'outil ne fonctionnera pas

Procédure :

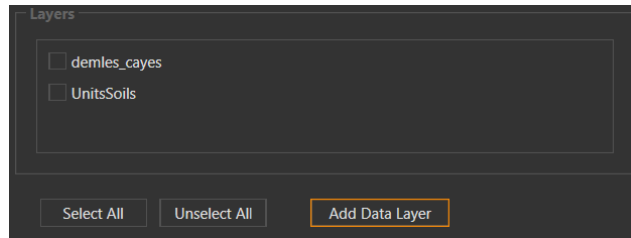
1. Pour commencer, sélectionner la boîte bleue dans la barre d'outils principale TEUI.



2. La boîte de dialogue s'affiche **Latin Hyper Cube Generator**



3. Sélectionner le bouton Add Data Layer de données pour ajouter des couches. Si l'on a ouvert un projet TEUI Toolkit en même temps, l'outil ajoute automatiquement ces couches au dialogue de sélection.



4. Apparaîtra une fenêtre qui permettra de naviguer jusqu'aux données raster de son choix. L'on peut sélectionner autant de couches que souhaité.

5. Assurer de placer un check list dans la boîte à côté de chaque trame de couche que vous souhaitez utiliser.

6. Entrez le nombre de points d'échantillonnage que vous souhaitez voir revenir (minimum 1).

7. Sélectionnez le nombre d'itérations. Une quantité importante nécessitera plus de temps de procédure, mais théoriquement produire des résultats plus précis.

8. Cliquer sur Generate pour créer les emplacements de l'échantillon. Le résultat produit sera une couche d'archive shapefile attribuée avec les valeurs de chaque raster en chaque point d'échantillonnage.

Si vous voulez connaître le processus de téléchargement et l'installation directe aller sur :

<http://www.fs.fed.us/eng/rsac/programs/teui/downloads.html>

10) Bibliographie

Ashtekar J.M., Owens P.R., Brown R.A., Winzeler H.E., Dorantes M., Libohova Z., Da Silva. M. & Castro. A. (2014). Digital mapping of soil properties and associated uncertainties in the Llanos Orientales, South America. In A. B. M. Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne Richer de Forges (Ed.), GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system (pp. 367–372). <https://doi.org/10.1201/b16500-67>

McBratney, A. Mendonça Santos, M., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma*, 117(1–2), 3–52. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)

Minasny B. & McBratney A. B. (2006). A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computers & Geosciences*, 32(9), 1378–1388. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.12.009>

Thorntwaite C. W. (1931). The climates of North America: According to a new classification. *Geographical Review*, 21(4), 633–655. <https://www.jstor.org/stable/209372>

Zhu A. X. (1997). A similarity model for representing soil spatial information. *Geoderma*, 77(2–4), 217–242. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00023-2)