

LISTE DES ABREVIATIONS

MNT	:	Modèle Numérique de Terrain
SIG	:	Système d'Information Géographique
GDEM	:	Global Digital Elevation Model
DEM	:	Digital Elevation Model
BD	:	Base de Données
SGBD	:	Système de Gestion de Base de Données
SQL	:	Structured Query Language
RGPH	:	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
Hab/ km ²	:	Habitants par kilomètre carré
CAO	:	Conception Assisté par Ordinateur
FTM	:	Foibe- Taosarintanin'i Madagasikara
ESRI	:	Environmental System Research Institute
ACP	:	Analyse en Composantes Principales
SHP	:	Shape
TIN	:	Triangular Irregular Network
STRM	:	Shuttle Radar Topography Mission
ASTER	:	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
ESPA	:	Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananrivo

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1 : Température maximal et minimal (Service Météo)

Tableau 2: Précipitation maximal et minimal (Service Météo)

Tableau 3: La répartition de la population dans la Région (RGPH, 1993)

Tableau 4: Les taux d'accroissement Naturel dans la Région (RGPH, 1993)

Tableau 5 : Les avantages et contraintes de deux données sont résumés ci-dessous

Tableau 6 : Tableau récapitulatif montrant tous les variables pris en considération

LISTE DE CARTES

Carte 1 : Carte de localisation de la Région

Carte 2 : carte des lavaka

Carte 3 : Carte des pentes

Carte 4 : Carte des expositions

Carte 5 : Carte de courbure

Carte 6 : Carte des Lavaka classés suivant sa superficie

Carte 7 : Carte des lavaka à étudier

LISTE DE FIGURES

Figure 1 : L'érosion en nappe

Figure 2 : L'érosion en rigole

Figure 3 : L'érosion en ravine

Figure 4: L'érosion en lavaka

Figure 5: Description d'une lavaka (J RQUIER, 1953)

Figure 6 : Lavaka en U causée par la présence d'une nappe phréatique (Riquier, 1953)

Figure 7 : Lavaka prenant naissance à mi-pente qui est causée par une intense érosion en nappe

Figure 8: Lavaka causée par l'approfondissement et l'élargissement d'un ravin préexistant

Figure 9: Lavaka causée par des glissements et des effondrements de terrain

Figure 10: Lavaka causée par des glissements et des effondrements de terrain

Figure 11: Schéma représentant le recul de la paroi et expliquant sa verticalité par l'existence d'un horizon supérieur cohérent.

Figure 12: Coupe du Genèse d'une Lavaka à partir du talus d'érosion d'une rivière.

Figure 13: Plan du Genèse d'une lavaka à partir du talus d'érosion d'une rivière.

Figure 14: Lavaka crée par un chemin qui a canalisé l'eau de ruissellement

Figure 15: Forme d'un ravin sur roche basique : basalte, gabbro, etc.

Figure 16: Lavaka dans un vieux sol latéritique sur roches volcaniques.

Figure 17: Lavaka dans un vieux sol latéritique sur roches volcaniques.

Figure 18: Ravin linéaire sur cendres volcaniques fraîchement épandues

Figure 19: Ravin linéaire sur cendres volcaniques fraîchement épandues

Figure 20: formes des lavaka

Figure 21: formes des lavaka

Figure 22: Un des phénomènes élémentaires expliquant les excavations à la base de la paroi

Figure 23 : Composante d'un SIG

Figure 25: Toutes les communes dont le champ « POPULATION » contient un nombre supérieur à 1000 sont sélectionnées.

Figure 24: sélection de certaines entités de la carte à l'aide de la souris

Figure 26: Affichage de la carte avec la couche « Voies routières » désactivée

Figure 27: Affichage de la carte avec la couche « Voies routières » activée

Figure 28: données graphiques visualisables dans un logiciel SIG

Figure 29: quelques exemples de format vecteur

Figure 30: quelques exemples de format raster

Figure 32: L'organisation en couches

Figure 31: Exemple des données alphanumériques

Figure 33: Grille raster

Figure 34: Mailles

Figure 35 : représentation graphique d'un MNT raster

Figure 36 : Exemple Modèle TIN vecteur

Figure 37: Droite de régression

Figure 38: Nuage de points avec la droite de régression

Figure 39: Représentation graphique de l'ACP

Figure 40: Fenêtre montrant les variables

Figure 41 : Fenêtre montrant les nuages des points

Figure 42 : Fenêtre montrant les types de graphiques

Figure 43 : Fenêtre montrant les nuages des points

Figure 44 : Fenêtre montrant la plage des données

Figure 45 : Fenêtre montrant l'emplacement du graphique

Figure 46: Graphique avec nuage des points

Figure 47 : Fenêtre montrant l'apparition de l'équation de régression et le coefficient

Figure 48 : Droite de régression

Figure 49 : Procédure pour effectuer une requête SQL

Figure 50: Représentation graphique de pente en fonction des profondeurs

Figure 51 : Représentation graphique des pentes en fonction de superficies

Figure 52: Représentation graphique de profondeurs en fonction de superficies

Figure 53 : Représentation graphique de pente en fonction d'Aspect moyenne

Figure 54 : Représentation graphique de profondeur en fonction d'Aspect moyenne

SOMMAIRE

REMERCIEMENT	i
LISTE DES ABREVIATIONS	ii
LISTE DE TABLEAUX	iii
LISTE DE CARTES	iii
LISTE DE FIGURES	iv
SOMMAIRE	vi
INTRODUCTION	1
PARTIE.1: GENERALITES	2
CHAPITRE.1: ETAT DES LIEUX DE LA REGION	3
I- LOCALISATION GEOGRAPHIQUE	3
II- MILIEU NATUREL	5
II.1- Géologie	5
II.2- Géomorphologie	5
II.3- Climat	6
II.4- Température	6
II.5- Pluviométrie	6
II.6- Hydrologie	7
II.7- Typologie sous-Régionale	7
II.8- Typologie Agro-Ecologique	8
III- MILIEU HUMAINE	9
III.1- Population et Densité	9
III.2- Croissance démographique	10
CHAPITRE.2: GENERALITES SUR L'EROSION	11
I- DÉFINITION	11

II-	LES INDICATEURS DE L'ÉROSION DU SOL -----	11
II.1-	Les différentes formes d'érosion -----	11
a-	L'érosion en nappe -----	11
b-	L'érosion en rigole -----	12
c-	L'érosion en ravine -----	12
d-	L'érosion en lavaka -----	13
II.2-	L'érosion sur les différents types de sols -----	14
II.3-	Le rôle protecteur de la forêt -----	14
II.4-	Les types de sols selon la couverture végétale -----	15
a.	Sous forêt -----	15
a.1-	Sous forêt primaire : -----	15
a.2-	Sous forêt secondaire ou Savoka -----	15
b.	Sous prairie -----	16
c.	Latérites Cuirassées -----	16
III-	LES MOYENS DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION -----	17
III.1-	Influence des pratiques anti-érosives -----	17
III.2-	Techniques culturales anti-érosives -----	18
III.3-	La structure anti-érosive -----	18
CHAPITRE.3:	LES PARTICULARITES DES LAVAKA -----	19
I-	DESCRIPTION D'UN LAVAKA -----	19
II-	CAUSES DE FORMATION DES LAVAKA -----	20
II.1-	Causes externes -----	21
a.	Causes externes naturelles -----	21
b.	Causes externes artificielles -----	25
II.2-	Causes internes -----	27
III-	CLASSIFICATION -----	31

IV- STADES D'EVOLUTION DES LAVAKA	32
IV.1- 1 ^{er} stade	32
IV.2- 2 ^{ème} stade :	33
IV.3- 3 ^{ème} stade :	35
V- IDEES GENERALES SUR LA LUTTE CONTRE LES LAVAKA	36
PARTIE.2: LES OUTILS D'INVESTIGATION	37
CHAPITRE.1: LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE	38
I- OBJECTIF	38
II- DEFINITIONS	38
III- COMPOSANTES D'UN SIG	39
III.1- Matériel	39
III.2- Logiciels	39
III.3- Données	39
III.4- Utilisateurs	40
III.5- Méthodes	40
IV- LES FONCTIONNALITES ET LIMITES D'UN SIG	40
IV.1- Traitements sémantiques et géométriques	40
IV.2- Requêtes spatiales	40
IV.3- Requêtes attributaires	41
IV.4- Modification de couches	42
IV.5- Edition de cartes	43
IV.6- Limites	43
V- LA STRUCTURATION DES DONNEES DANS UN SIG	43
V.1- Les données graphiques :	43
a - Les données vectorielles	44
b - Les données raster	46

c -	Les avantages et contraintes de deux données sont résumés ci-dessous-----	47
V.2-	Les données alphanumériques -----	47
V.3-	Les différents logiciels SIG -----	49
VI-	SYSTEME DE COORDONNEES DANS LES SIG -----	50
VI.1-	Définition-----	50
VI.2-	Le référentiel malagasy-----	50
VI.3-	Projection Laborde Madagascar -----	50
CHAPITRE.2:	LES DONNEES DE BASE-----	52
I-	LE MNT -----	52
I.1-	Définitions -----	52
I.2-	Types de MNT -----	52
I.3-	Modes de présentation-----	52
a.	Mode raster -----	53
b.	Mode vecteur-----	54
c.	Caractéristiques -----	55
d.	Perspectives-----	56
I.4-	Model GDEM -----	56
a.	Création de GDEM-----	56
b.	Caractéristique de GDEM ASTER-----	57
II-	LA CARTE DES LAVAKA -----	57
CHAPITRE.3:	LES BASE DE DONNEES DANS UN SIG -----	59
I-	DEFINITION D'UNE BD-----	59
II-	UTILITE D'UNE BD-----	59
III-	LA GEODATABASE OU BASE DE DONNEES GEOGRAPHIQUES -----	60
III.1-	Définition-----	60
III.2-	Les trois types de geodatabase d'ESRI -----	60

a.	La geodatabase fichier :-----	60
b.	La geodatabase personnelle :-----	60
c.	La geodatabase ARCSDE :-----	60
III.3-	Caractéristiques -----	60
III.4-	Classe d'entités :-----	60
III.5-	Jeu de classes d'entités :-----	61
III.6-	Table :-----	61
III.7-	Les fichiers Raster-----	61
IV-	SYSTEME DE GESTION DE BASES DE DONNEES (SGBD)-----	61
	CHAPITRE.4: LA STATISTIQUE DES LAVAKA -----	63
I-	OBJECTIF -----	63
II-	DEFINITION-----	63
III-	ECART-TYPE -----	63
IV-	LES CARACTERES STATISTIQUES :-----	64
IV.1-	Les caractères qualitatifs :-----	64
IV.2-	Les caractères quantitatifs :-----	64
V-	REPRESENTATION DES DONNEES :-----	64
VI-	DROITE DE REGRESSION -----	65
VI.1-	Méthode et définition :-----	65
VI.2-	Calcul -----	65
VI.3-	Equation de la droite de régression-----	66
VI.4-	Corrélation-----	66
VII-	Analyse en Composantes Principales (l'ACP)-----	68
	PARTIE 3 : METHODOLOGIES ET RESULTATS -----	69
	CHAPITRE.1- METHODOLOGIES -----	70
I-	CALCUL DES FICHIER DERIVES DU MNT-----	70

a.	Carte des pentes -----	70
b.	Carte des expositions (Aspect en Anglais) -----	72
c.	Courbure (en Anglais curvature) -----	74
II-	CREATION STATISTIQUE DE LAVAKA -----	76
III-	REORGANISATION D'UNE BASE DE DONNEES DE LAVAKA -----	78
IV-	ISOLER LES LAVAKA REPRESENTATIFS DE LA SERIE -----	78
IV.1-	Définition SQL -----	78
IV.2-	La maintenance des bases de données -----	79
IV.3-	Les manipulations des bases de données -----	79
IV.4-	La commande SELECT -----	79
IV.5-	Les fonctions d'ensemble -----	79
V-	RECHERCHE CORRELATION ENTRE LES VARIABLES TOPOGRAPHIQUES DES LAVAKA -----	80
VI-	METHODE DE SELECTION -----	84
CHAPITRE.2-	INTERPRETATION DES RESULTATS -----	86
I-	CORRELATION ENTRE PENTE ET PROFONDEUR -----	86
II-	CORRELATION ENTRE PENTE ET SUPERFICIE -----	87
III-	CORRELATION ENTRE PROFONDEUR ET SUPERFICIE -----	88
IV-	CORRELATION ENTRE PENTE ET ASPECT -----	89
V-	CORRELATION ENTRE ASPECT ET PROFONDEUR -----	90
VI-	CRITERES MORPHOLOGIQUES -----	90
VII-	CLASSIFICATION DES LAVAKA SELON LES CRITERES STATISTIQUES -----	91
VIII-	CRITERES ACCESSIBILITÉS -----	95
CONCLUSION -----		96
WEBOGRAPHIE -----		97
BIBLIOGRAPHIE -----		97
ANNEXES -----		98

INTRODUCTION

Madagascar est un pays très vulnérable à l'érosion. L'érosion est un processus naturel lent et insoupçonné entraînant une perte énorme en terre arable qui menace la fertilité du sol. Elle peut se présenter sous plusieurs formes, à savoir, l'érosion en nappe les glissements, l'éboulement, le mouvement de masse, les coulées boueuses, la lavaka, etc. Mais nous nous intéressons plus particulièrement à l'étude de lavaka, la forme la plus spectaculaire que l'on rencontre généralement sur les Hautes Terres malgaches.

L'érosion en lavaka est considérée comme une source de handicap pour l'environnement et pour le développement de l'agriculture dans la partie d'Alaotra en particulier. Elle engendre un départ de plusieurs tonnes de sédiment chaque année et constitue un risque majeur selon les agences de développement. Les lavaka sont d'origine à la fois naturelle et anthropique et font l'objet de nombreuses recherches. Les diverses études montrent que l'apparition ou l'existence des lavaka freine le développement économique dans la région Alaotra, du fait que les sédiments remblaient les rizières.

Les images de satellite Landsat prises entre 1993 et 2000 ont permis de cartographier environ 6000 lavaka dans le Bassin Versant de Lac Alaotra (Rabarimanana et *al*, 2004). Cette carte est la base d'une première BD lavaka en intégrant les données topographiques de GTOPO 30 (MNT).

L'objectif de cette étude est de réactualiser cette Base de Données de lavaka à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) dans un SIG. Cette base, grâce aux méthodes de statistiques, permettra d'identifier les groupes de lavaka présentant les mêmes caractéristiques afin d'orienter le choix des échantillons à étudier.

Pour comprendre la démarche utilisée, ce mémoire est subdivisé en trois parties. La première partie est consacrée à l'étude des généralités ; la deuxième partie traitera les outils d'investigation enfin, troisième partie on présentera les méthodologies et les résultats.

PARTIE.1: GENERALITES

CHAPITRE.1: ETAT DES LIEUX DE LA REGION

I- LOCALISATION GEOGRAPHIQUE

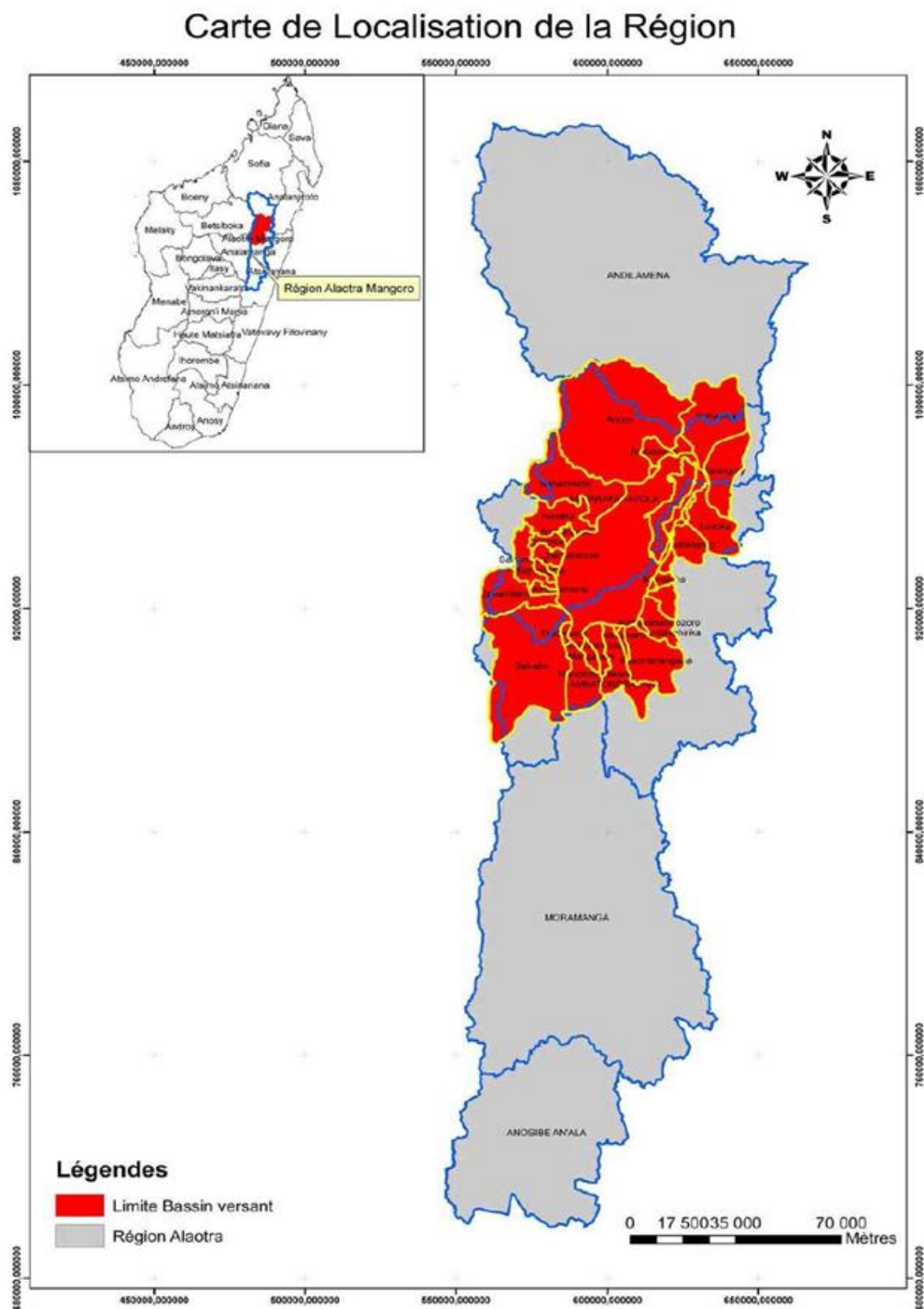
Le Bassin Versant d'Alaoatra est située entre 17°23'4 latitude Sud et 48°37'9 longitude Est. Elle se trouve dans la région d'Alaoatra Mangoro. Le Bassin Versant est allongée selon une direction subméridienne de 218,28 Km de longueur et d'une largeur moyenne de 35,16Km avec une superficie de 7675km² (résultat obtenu par le logiciel ArcGis 9.2).

Le Bassin Versant achève 3 districts :

Andilamena ;

Amparafarvola ;

Ambatondrazaka.



Carte 1 : Carte de localisation de la Région

L'ensemble de la région (30580 Km²) représente 41% de la superficie de l'ex- province Autonome de Toamasina et 5,21% par rapport à toute île. Elle se subdivise en deux :

- ✓ L'Alaotra incluant Ambatondrazaka, Amparafaravola et Andilamena ;
- ✓ Le Mangoro comprenant Moramanga et Anosibe An'Ala.

II- MILIEU NATUREL

II.1- Géologie

Le bassin fait partie du socle précambrien malgache. D'une manière générale, elle est constituée par des roches gneissiques plus ou moins métamorphisées tels que les migmatites, les gneiss, les migmatites granitoïdes et les granites migmatitiques.

Les caractéristiques géologiques et géomorphologiques, suivant le transect Moramanga vers Brickaville montrent des escarpements et des reliefs multifaces (600 à 1200m d'altitude) ; un passage de gneiss à graphites à la formation calcaro-ferro-magnésienne d'Alaotra-Beforona et une faille de direction N20°E ayant un regard vers l'Est. Sur les collines convexes (150 à 600m) : des formations métamorphiques variées constituant les synclinoriaux emboîtés d'Alaotra-Beforona, avec de nombreuses zones de fractures.

II.2- Géomorphologie

Le relief est surtout marqué par le fossé de l'Alaotra qui est un vaste plateau intermédiaire, situé au milieu des plateaux de la région centrale de Madagascar avec une altitude moyenne de 700m. Des massifs latéritiques forment les abords des bassins versants, lesquels couvrent une superficie de 7000km² environ. La cuvette de Lac Alaotra est remblayée par des sédiments lacustres pléistocènes qui forment des buttes résiduelles culminant entre 800 et 970m. Dans la zone la plus basse de la cuvette se trouvent les eaux libres du lac, sur une superficie de 200km² mais d'une faible profondeur (entre 2 et 3m). Les plaines rizicultivées qui l'entourent ont été récupérés sur les marais et en fait l'objet d'aménagements hydroagricoles traditionnels et moderne pour la culture irriguée.

II.3- Climat

La région du Lac Alaotra est marquée par un climat tropical humide et tempéré par l'altitude. Du fait du déplacement des masses d'air de la zone de convergence en terre tropicale, le climat est caractérisé par deux saisons nettement marquées, la saison humide qui correspond à l'été austral et la saison sèche, l'hiver austral. Il y a donc alternance d'une saison chaude et pluvieuse de Novembre à Mars (5 mois), pendant laquelle se concentrent plus de 80% des précipitations annuelles, et d'une saison sèche marquée d'Avril à Octobre (5mois).

II.4- Température

Les maximums moyens sont supérieurs à 20°C dans leur plus forte valeur varie entre 27°4C pour la station d'Ambatondrazaka et 24°2C pour Périnet. Le maximum moyen le plus fort se situe le plus souvent en Décembre (Ambatondrazaka 30°C ; Andilamena 29°7C ; Moramanga 27°8C), tandis que Juillet demeure le mois le plus frais (Ambatondrazaka 17°9C ; Moramanga 15°4C ; Andilamena 15°9C).

Température en °C	Station Ambatondrazaka		
	Décembre	Juillet	Districts
	30	17,9	Ambatondrazaka
	29,7	15,9	Andilamena
	27,8	15,4	Moramanga

Tableau 1 : Température maximal et minimal (Service Météo)

II.5- Pluviométrie

Au niveau de la Région, c'est l'exposition ou l'abri par rapport aux vents d'Est qui entre fondamentalement en ligne de compte. Les stations tournées vers l'Est présentent des caractères qui s'intègrent étroitement dans le domaine oriental et ce sont les températures qui les caractérisent. En revanche, les stations placées sous le vent d'un chaînon dans un fossé, voire sous le simple abri d'une butte, voient leurs totaux baisser, leur saison sèche s'accroître. Ceci est particulièrement vrai pour la vallée de Mangoro qui prolonge la dépression de l'Alaotra.

C'est ainsi que les hauteurs moyennes des précipitations annuelles sont respectivement de 1825mm pour Périnet, 1626mm pour Moramanga, 1091mm pour Ambatondrazaka et 920mm pour Andilamena.

Les maxima se situent toujours au mois de Janvier (Moramanga, 309mm ; Andilamena 249mm ; Ambatondrazaka 228mm), tandis que les minima sont toujours enregistrés en Septembre (Andilamena 7mm ; Ambatondrazaka 2,5mm ; Moramanga 29mm)

Hauteur de la précipitation en mm	Station Ambatondrazaka		
	Janvier (maxima)	Février (minima)	Districts
	228	2. 5	Ambatondrazaka
	249	7	Andilamena
	309	29	Moramanga

Tableau 2: Précipitation maximal et minimal (Service Météo)

Si à Moramanga, les pluies sont assez bien réparties dans l'année, le fossé de l'Alaotra en revanche appartient climatiquement au domaine sous le vent de l'alizé.

II.6- Hydrologie

Au Nord de l'Alaotra, les principales rivières (Bemarivo, Marijao, Amboasary, Manompy etc.) possèdent un cours supérieur dans le domaine des hauts plateaux latéritiques, proche de l'équilibre. Sur la partie orientale des plateaux, les rivières subissent un rajeunissement qui se matérialise par un encaissement progressif de 100 à 200 m dans le plateau disséqué et l'apparition de successions de biefs calmes coupés de barres rocheuses. Le début de la zone des massifs interne se marque par des chutes spectaculaires (100 m). Abondamment alimentées pendant la majeure partie de l'année, ces rivières possèdent un débit d'étiage peu prononcé en Octobre-Novembre. Ce schéma général de l'hydrographie s'applique aussi au cours inférieur et moyen des rivières qui au Sud (Onibe, Maningory, Ivondro) drainent la cuvette de l'Alaotra et ses annexes. Les crues de saison des pluies, aggravées occasionnellement par les cyclones, peuvent être très brutales.

II.7- Typologie sous-Régionale

L'Alaotra, les cuvettes d'Andilamena et de Didy, c'est une région caractérisée par des sols hydromorphes ou la principale activité reste la riziculture associée à des cultures sèches de plateau (manioc) et à l'élevage intensif. Elle est reliée à Toamasina et à Antananarivo par voie

ferrée et route et possède un réseau bien développé de voies secondaires et pistes charretières praticables en saison sèche.

*** Les parties septentrionale et occidentale d'Andilamena et d'Amparafaravola.**

Avec un climat nettement plus sec et des formations végétales surtout constituées de savanes, cette zone s'apparente beaucoup au Tampoketsa et reste vouée à l'élevage bovin. Le phénomène de "dahalo" se fait déjà sentir sur les marges occidentales d'Amparafaravola et surtout au Nord du Fivondronana d'Andilamena.

*** Le haut Mangoro et Moramanga**

C'est une sous-région climatique de la "zone au vent" de l'alizé. Avec l'altitude, les températures du mois les plus frais sont inférieures à 18°C et celles du mois le plus chaud sont de l'ordre de 22°C. Le nombre du mois biologiquement secs est inférieur à deux. Il en découle des formations denses de ligneux et les activités principales demeurent l'exploitation forestière et la culture traditionnelle du riz sur tavy.

II.8- Typologie Agro-Ecologique

Sur la base des résultats de l'Enquête Agricole de Base mené par le Service de la Statistique Agricole de la Direction de la Prévision et des Etudes Economiques, on peut caractériser les Fivondronana selon le type de spéculation, ce qui permet d'effectuer une distinction selon le type de cultures et spéculations.

*** Cultures et spéculations**

Globalement, les profils de spéculation indiquent une forte diversification des cultures: cultures vivrières et de rentes sont présentes partout bien que variant d'un point de vue de l'intensité.

On peut toutefois distinguer deux (02) types de typologies :

- Le premier type est caractérisé par la faible présence des cultures de rentes et concerne essentiellement les Fivondronana d'Amparafaravola et d'Ambatondrazaka.

- Un deuxième type est caractérisé par la présence de cultures de rentes chez un nombre

important d'agriculteurs, entre 30 et 60 % des exploitations enquêtées. Le type de spéculation et les combinaisons varient d'un Fivondronana à l'autre.

Dans ce deuxième type de culture, on peut toutefois discerner deux (02) catégories :

- Une première catégorie est marquée par la prépondérance du riz tavy et le très faible part de la culture irriguée. Ce type de culture concerne particulièrement le Fivondronana d'Anosibe An'ala.

- Une deuxième catégorie est caractérisée par la présence relativement importante du riz irrigué ainsi qu'une diversification de plus en plus importante des cultures de rentes.

Cette catégorie se retrouve dans le Fivondronana d'Andilamena.

✱ L'élevage

Le gros élevage, et notamment l'élevage bovin, reste prédominant dans la plupart des Fivondronana même si cet élevage reste inférieur à celui du reste des autres régions. On relèvera ensuite une forte présence d'élevage et de l'apiculture pour le Fivondronana d'Anosibe An'ala.

Le petit élevage et particulièrement le poulet reste présent dans toutes les exploitations, et en deuxième position le canard malgré la forte présence d'oies dans le Fivondronana d'Amparafaravola.

III- MILIEU HUMAINE

III.1- Population et Densité

Le tableau ci-dessous nous montre la population et Densité dans chaque District.

District	Population résidente	Superficie (Km ²)	Densité (hbts/Km ²)
Anosibe an'Ala	65 397	2 660	24,59
Moramanga	167 723	8 954,5	18,73
Ambatondrazaka	184 784	6 492	28,46
Amparafaravola	163 852	4 947,5	33,12
Andilamena	31 655	7 526	4,21
Ensemble Région	613411	30580	20,06

Tableau 3: La répartition de la population dans la Région (RGPH, 1993)

Selon le Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) réalisé en 1993,

les régions concernées par la Région Alaotra Mangoro comptent 613411 habitants dans une superficie de 30580 Km² donnant une densité de 20,06 Hab. /Km². Cette densité est légèrement inférieure à la densité nationale qui est de 20,09 Hab. /Km² mais nettement inférieure à la moyenne de la province qui se situe à 28 Hab. /km².

La densité de la population dans la région est proche de la densité nationale (# 20,06 contre 20,9).

Les densités d'Ambatondrazaka et d'Amparafaravola, respectivement de 28,46 et de 33,12 sont élevées par rapport aux autres Fivondronana de la région de l'Alaotra et cela s'expliquent par leurs potentialités agricoles et leurs infrastructures sociales (lycée, école, santé...).

Andilamena, avec ses 4,21 Hab/km², présente la densité la plus faible. Cette dernière s'explique par l'insécurité qui y règne (zone rouge) et par sa spécialisation en élevage bovin extensif.

III.2- Croissance démographique

Compte tenu de la légère sous-évaluation des taux de natalité et du caractère tout à fait irréaliste des taux de mortalité, les taux d'accroissement naturel à partir des données du RGPH 1993 ne doivent pas refléter toute la réalité.

District	Taux de natalité	Taux de mortalité	Taux d'accroissement naturel
Anosibe an'Ala	4,29	0,85	3,44
Moramanga	4,06	0,98	3,08
Ambatondrazaka	3,61	0,60	3,01
Amparafaravola	4,06	0,67	3,39
Andilamena	3,13	0,50	2,63
Ensemble région	3,89	0,74	3,15

Tableau 4: Les taux d'accroissement Naturel dans la Région (RGPH, 1993)

CHAPITRE.2: GENERALITES SUR L'EROSION

I- DÉFINITION

L'érosion est un mécanisme par lequel les particules de sol sont détachées et déplacées de leur point d'origine. (Alberta Transportation,2003)

II- LES INDICATEURS DE L'EROSION DU SOL

Il y a quelques indicateurs à savoir :

- ✖ Des ravines profondes indiquent une importante érosion ;
- ✖ De petites cannelures à surface du sol indiquent des pertes significatives de sol ;
- ✖ Une croûte de sol compacte après une pluie torrentielle est révélatrice d'une érosion probable ;
- ✖ L'accumulation des éléments fins du sol dans les tranchées et les dépressions est une preuve de l'érosion dans le voisinage immédiat.
- ✖ La couleur brune de l'eau de drainage ou des ruisselets pendant et après de lourdes pluies est un indicateur fiable de l'érosion dans la ligne de partage des eaux (bassins versants) ;
- ✖ Les racines des arbres sont partiellement apparentes.

II.1- Les différentes formes d'érosion

On peut distinguer différentes formes d'érosion autour du lac qui peuvent être accentuées selon la pente du bassin versant et le couvert végétal qui s'y trouve. Il s'agit de :

a- L'érosion en nappe

Cette forme d'érosion est la conséquence directe des précipitations. Elle est due à l'action de ruissellement des eaux de pluies qui coulent en nappe sur un terrain en pente.

La force de l'eau arrive à arracher progressivement les particules du sol. De ce fait, la couche superficielle du terrain est érodée de manière plus ou moins uniforme.

C'est la forme la plus insidieuse de l'érosion, car son effet n'est décelé qu'après une longue période. Elle n'est constatée que les touffes d'herbes dans les savanes finissent par se mettre en relief.

Cette forme d'érosion est aggravée par les feux de brousses, les surpâturages qui réduisent le couvert végétal.

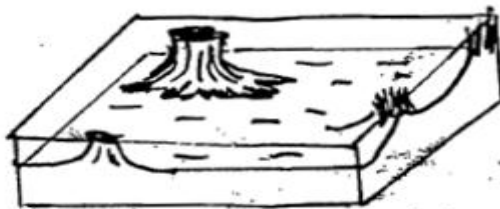


Figure 1 : L'érosion en nappe

b- L'érosion en rigole

Ce type d'érosion se produit sur les terrains plus ou moins escarpés. A cause des irrégularités de surface sur ces terrains, l'eau trouve des dépressions pour se nicher, formant ainsi des rigoles situées en aval. L'écoulement chemine dans des petits filets qui entaillent le sol sur plusieurs centimètres en profondeur.



Figure 2 : L'érosion en rigole

c- L'érosion en ravine

Lorsque l'érosion en nappe ou en rigole s'accroît, celle-ci dégénère en érosion en ravine. En effet, lorsque l'écoulement est très abondant, il se concentre suivant certain et provoque le ravinement.

Une ravine se forme en général à partir de l'aval d'une pente et grignote le sol d'une façon régressive en remontant vers le sommet d'un versant. Le ravinement est dû souvent aux actions de l'homme et des troupeaux.

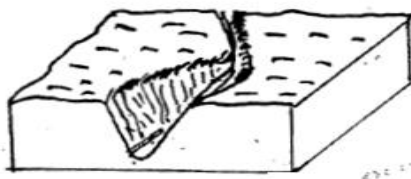


Figure 3 : L'érosion en ravine

d- L'érosion en lavaka

Le lavaka est une forme particulière d'érosion en ravine très répandue à Madagascar. Cette forme d'érosion est caractérisée par une profonde excavation à parois quasi verticales au flanc d'une colline. Certains ont des formes digitées plus ou moins ramifiées mais présentant toujours une paroi verticale. Il s'agit alors d'un ravin profond, élargi de 30 à 200 mètres d'envergure, en forme d'entonnoir en amont et rétréci en aval pour former l'exutoire réduit de 2 à 3 mètres de large. Sa profondeur peut varier de 10 à 30 mètres.

Ce sont souvent des sols à forte teneur argileuse qui subissent l'action de l'érosion en lavaka.

Les lavaka se forment en général sur les terrains présentant une pente assez forte.

En général, les lavaka sont engendrés par une situation hydrogéologique naturelle donc une cause interne et d'autres facteurs externes tels que l'homme et les troupeaux d'animaux.

L'aspect hydrogéologique s'explique par le fait que les argiles dans les couches inférieures du sol se caractérisent par une forte densité de l'écoulement souterrain à cause des éléments du sous-sol tels que les couches sableuses, blocs rocheux ou fissures de dessiccation. Lorsque l'eau souterraine entraîne des particules, ceci provoque des affaissements internes qui répercutent en surface, favorisant l'érosion externe. Dès que la couche supérieure plus compacte est fissurée, le ruissellement de surface s'engouffre dans les fentes et atteint la couche altérée sous-jacente. La couche supérieure se brise alors par éléments successifs en remontant la pente. Ceci est à l'origine des effondrements et des éboulis à l'intérieur des lavaka.

Les actions de l'homme et des animaux conditionnent aussi la formation des lavaka. Les feux de brousse et le piétinement par le bétail à la surface du sol produisent des fentes de dessiccation. Au moment des fortes pluies, une quantité importante d'eau pénètre dans les fentes et arrive jusqu'à la zone d'altération, ce qui provoque le déclenchement de l'érosion en lavaka.

Il faut signaler que c'est cette forme d'érosion déversée chaque année, à la période des pluies, dans les zones de bas-fonds constitués de rizières, de marécages et du lac lui-même des milliers de tonnes de sédiments qui entraîne l'envasement et l'ensablement de plusieurs milliers d'hectares de superficies cultivées.



Figure 4: L'érosion en lavaka

II.2- L'érosion sur les différents types de sols

Le facteur qui conditionne l'érosion est l'absence ou la présence de matière organique. On connaît son rôle primordial dans le maintien de la fertilité d'un sol ; il n'est pas moindre dans la conservation de l'eau. Un sol riche en humus retiendra des quantités d'eau considérables et l'excès est limpide ; tandis que sur le sol sans matière organique, le ruissellement sera intense et les eaux sont chargées de particules en suspension. Dans Ploughman's Folly, Faultener déclare que l'érosion ne commence que lorsque la surface du sol est devenue non-absorbante par perte de la matière organique qui, elle, a une capacité d'absorption très élevée. Mais cette précieuse matière organique ne peut se maintenir si l'on vient à détruire la couverture végétale forestière qui lui a donné naissance. Par la suite, des propriétés physiques défavorables feront que les sols seront une proie facile pour l'érosion.

II.3- Le rôle protecteur de la forêt

Le rôle des arbres est multiple tel que la production des matériaux de construction et de bois de feu régulation du régime hydrologique et du climat, conservation des sols, maintien de la biodiversité, et provision de sites de récréation pour les populations.

Plus les pentes ne sont accentuées, plus les rôles de conservation des sols deviennent critique.

La forêt permet aussi le maintien d'une bonne structure du sol par son action sur le cycle des bases (remontée en surface par les racines des bases lessivées), par l'apport d'humus et par son système racinaire dense et profond. En milieu tropical, le cycle biogéochimique fonctionne parfaitement sous forêt dense. Même sur les sols ferralitiques, les moins naturellement fertiles, la forêt peut prospérer remarquablement en circuit fermé. Sur sols ferralitiques, une déforestation qui se traduit rapidement par une érosion d'autant plus forte que le sol est pauvre en humus et par une

acidification du sol faute d'une remontée suffisante de bases. Cette acidification contribue à solubiliser les oxydes de fer, qui peuvent alors soit remonter dans le profil, soit se déplacer vers des noyaux de cuirassement ferralitiques.

II.4- Les types de sols selon la couverture végétale

Il convient de distinguer les argiles latéritiques sous forêt et sous prairie.

a. Sous forêt

On aura le profil typique suivant :

- **A.1** : 10 à 20 cm. Horizon grumeleux gris avec nombreux débris organiques plus ou moins décomposés.
- **A.2** : 20 à 150 cm. Horizon jaunâtre appauvri en fer et généralement en argile.
- **B** : 150 cm et dessous. Argile rouge très compacte.
- **C** : Zone d'attaque de la roche-mère granuleuse grâce aux minéraux encore peu altérés et ayant gardé leur forme.

a.1- Sous forêt primaire :

L'horizon supérieur A est généralement peu épais et présente une bonne structure physique. L'humus retiendra la majorité de l'eau tombée et protégera les colloïdes argileux en évitant l'éclatement des agrégats. Le sol se maintient à peu près toujours en place et l'érosion est peu à craindre. Pas de lavaka.

a.2- Sous forêt secondaire ou Savoka

Une bonne partie de la matière organique a été détruite et l'humus ne s'est pas encore reconstitué. Le sol est moins protégé et peut subir un commencement de dessiccation.

Des fentes de retrait pourront se produire et le sol sera divisé en de nombreux polyèdres. L'eau de pluie sera divisée en petites rigoles et le travail d'affouillement sera facilité.

Si l'on vient à défricher une zone forestière pour la mettre en culture, l'horizon supérieur humifère meuble, non protégé et entretenu, est très facilement érodé si l'on ne veille pas à sa conservation. L'eau pénètre à travers A jusqu'en B et entraîne la partie supérieure par érosion en nappe.

b. Sous prairie

On peut observer le profil typique suivant :

- **A0** : 1 à 2 cm. Croûte terreuse parfois humifère.
- **B** : Horizon rouge compact, très forte teneur en argile durcie par dessiccation.
- **C** : Zone d'attaque de la roche-mère.

Un tel sol sans humus est pratiquement imperméable. Les pluies violentes y pénètrent peu. Même après plusieurs jours de pluie, seuls les premiers centimètres sont humides. Les habitants des hauts-plateaux creusent leurs greniers à riz dans le sol. L'eau déterminera la dispersion de l'argile en surface et la dessiccation résoudra les différents éléments pour en faire une véritable brique. Cette imperméabilité de surface, due en grande partie à l'abondance de l'argile, est également favorisée par la présence d'oxydes de fer et d'alumine qui forment des gels colloïdaux et empêchent la mouillabilité.

Les fentes de dessiccation dans l'argile latéritique sont rares, surtout si l'argile est kaolinique. Cependant, elles existent et ce sont elles qui permettent l'érosion. La formation de lavaka est très abondante sur ce type de sol. Il se crée de vastes cirques qui, une fois amorcés, s'élargissent très rapidement. Les hauteurs déboisées, voisines du Lac Alaotra, sont à l'heure actuelle énergiquement dégradée par ce processus. Dans les argiles latéritiques formées à partir de micaschistes, les glissements sont encore facilités par les plans de schistosité fournis par les lits de mica.

Les argiles latéritiques sur gabbro portent des lavakas à parois assez inclinées. Le sol y est moins compact et s'éboule plutôt qu'il ne s'arrache. Ceci est peut-être dû à une saturation des colloïdes par le calcium provenant des plagioclases.

c. Latérites Cuirassées

Des superficies assez étendues sont actuellement recouvertes de cuirasses latéritiques. Ces cuirasses très dures occupent des surfaces horizontales ou subhorizontales qui, elles aussi, sont aux prises avec l'érosion. Les pluies agissent peu sur la partie supérieure bien que toujours dénudée. Ce sont par les bords que ce produit attaque. La partie sous-jacente moins résistante est enlevée et la croûte est mise en surplomb. Des blocs s'en détachent peu à peu et parsèment les pentes. Ces blocs à leur tour seront morcelés et réduits en fragments de plus en plus petits.

III- LES MOYENS DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION

A Madagascar, il semble que le retour à la couverture végétale inconsidérément détruite sera placé en tête de liste. L'arbre est, dans tous les cas, le garant de la conservation du sol. Il permet le renouvellement de la matière organique qui emmagasine l'eau et régularise son écoulement. De plus, par ses racines, il aide à maintenir le sol en place. Il n'y a pas de lavaka, en forêt tandis qu'en prairie elle n'est que trop fréquente. Toute mise en exploitation des sols de prairie à Madagascar est impossible tant qu'on n'aura pas recrée et maintenu un stock suffisant de matière organique et pour cela, le seul moyen est de reboiser.

Lorsqu'on met en culture un sol latéritique, la matière organique existante aide au maintien de la structure grumeleuse. Lorsque celle-ci vient à disparaître, on peut y remédier par une régénération artificielle grâce au labour. La nouvelle stabilité sera due à un émiettement mécanique suivi de dessiccation.

La dessiccation peut s'opérer de plusieurs manières :

- ✱ Déshydratation des argiles permettant un rapprochement des particules et l'augmentation de la cohésion ;
- ✱ Déshydratation de la couche externe des particules avec augmentation de la cohésion ;
- ✱ Pectisation des hydroxydes.

A la première pluie, il y aura dispersion des argiles et éclatement des agrégats et l'on retournera très rapidement à la structure compacte favorable à l'érosion.

De plus, un labour ainsi conçu aura pour effet d'achever la destruction de ce qui reste de la matière organique. Il faudra renouveler celle-ci au moyen de fumure. L'enfouissage d'engrais vert paraît une solution intéressante.

La construction de terrasses ou de murettes entraînerait de trop fortes dépenses sur les Hauts-Plateaux malgaches. Si l'on ne reboise pas, les pentes sont vouées à la destruction à plus ou moins brève échéance.

III.1- Influence des pratiques anti-érosives

Les pratiques anti-érosives ont pour objet de réduire le ruissellement des eaux et les coûts associés à l'érosion. Elles comprennent les techniques culturales mises en œuvre exclusivement dans cet objectif et les structures anti-érosives.

III.2- Techniques culturales anti-érosives

Les techniques les plus répandues sont : la culture en courbes de niveau, le billonnage en courbes de niveau, la culture en bandes en courbes de niveau isolées par des bandes d'arrêt enherbées, le paillage naturel ou artificiel ; le paillage artificiel avec des produits comme l'acétate de polyvinyle et les plantes de couvertures.

III.3- La structure anti-érosive

Il existe quatre modes de gestion de l'eau auxquels correspondent des structures anti-érosives :

- La capture du ruissellement pour l'irrigation d'appoint (ex : barrage avec culture du réservoir après infiltration) ;
- L'infiltration totale (ex : les gradins ou terrasses méditerranéennes) ;
- La diversion des eaux excédentaires (ex : fossés de drainage) ;

La dissipation de l'énergie de ruissellement pour maintenir sa vitesse inférieure à 25 cm/s (les bandes d'arrêt enherbées, les cordons de pierres, etc.).

CHAPITRE.3: LES PARTICULARITES DES LAVAKA

I- DESCRIPTION D'UN LAVAKA

La lavaka est une forme d'érosion très répandue à Madagascar surtout sur la région d'Alaotra. Ce mot malgache désigne une grande et profonde excavation. Cette forme d'érosion caractérise les sols à forte teneur argileuse ou les sols latéritiques avec un relief accentué.

À première vue, une lavaka présente cinq (05) unités principales :

- ✕ Reste du bassin versant ;
- ✕ Front de recul de la lavaka ;
- ✕ Lavaka proprement dite (tête et exutoire) ;
- ✕ Chenal de déversions des eaux ;
- ✕ Cône d'épandage des matériaux.

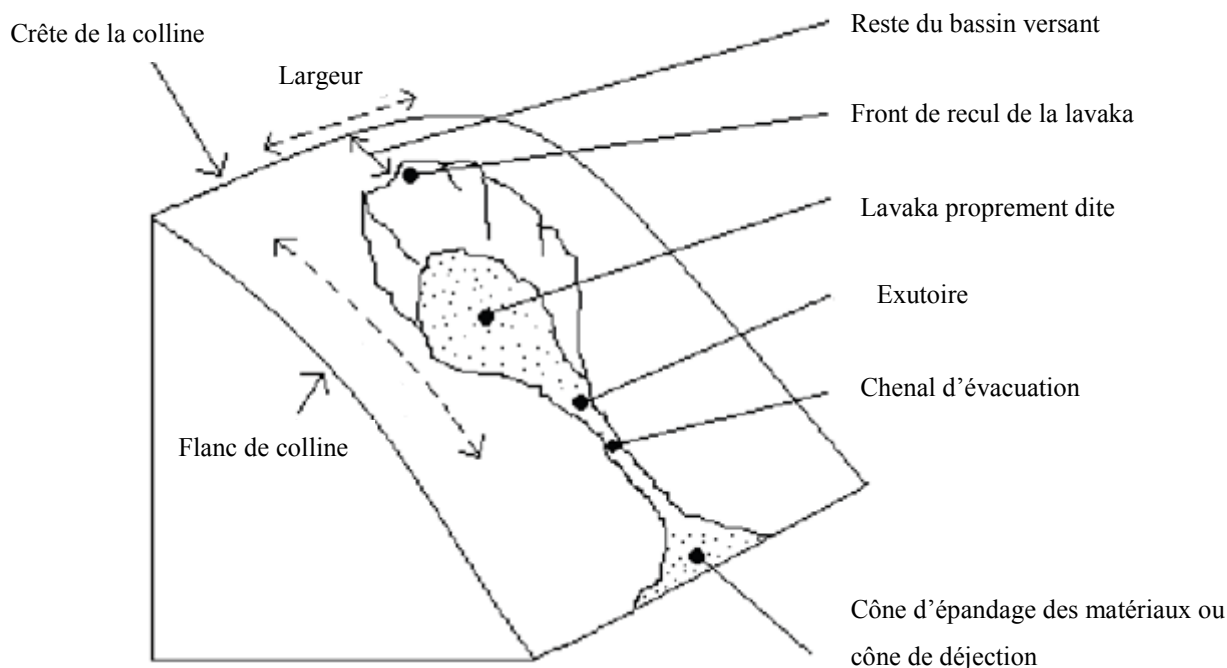


Figure 5: Description d'une lavaka (J RIQUIER, 1953)

La lavaka est caractérisée par un véritable cirque ovoïde ou par des formes digitées plus ou moins ramifiées. Le profil transversal est en V ou en U selon son stade d'évolution, de la vitesse de déblais des éboulis, la présence de source, etc. L'intérieur de lavaka est encombré

d'éboulis formés de tous les terrains de l'ancienne surface qui se sont effondrés dans l'excavation. Si la lavaka a atteint son stade de sénilité, une végétation assez dense peut s'établir à l'intérieur, profitant de l'humidité, de la fertilité du sol et de la protection des feux de brousse. Deux lavaka peuvent se rejoindre de chaque côté d'une crête et scier littéralement la colline en deux. Ces arrachements peuvent atteindre quelques mètres en diamètre et posséder des profondeurs de 10 à 50 mètres.

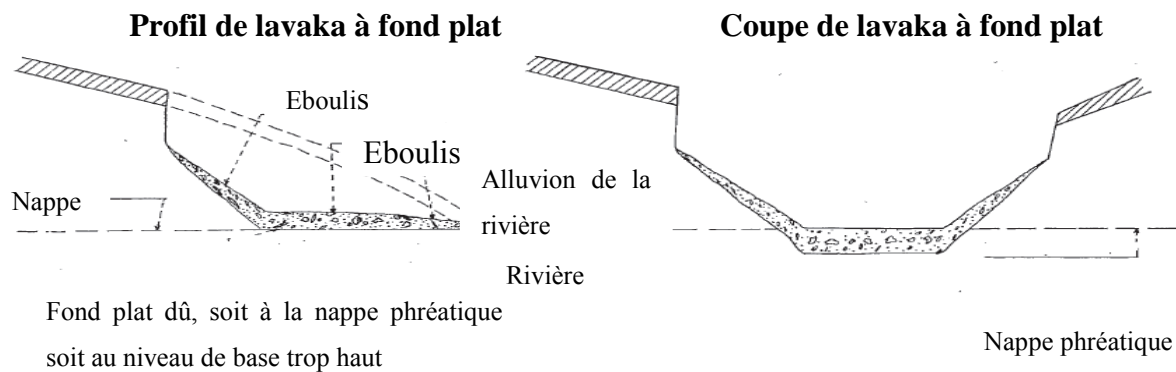


Figure 6 : Lavaka en U causée par la présence d'une nappe phréatique (Riquier, 1953)

II- CAUSES DE FORMATION DES LAVAKA

Les causes peuvent distinguer en deux : causes externes et causes internes

✱ **Les causes externes** favorisent l'érosion en ravins, c'est-à-dire concentrent l'eau de ruissellement en certains points du flanc de la colline.

✱ **Les causes internes** expliquent que l'on ait cette forme particulière d'érosion en ravins appelée lavaka.

II.1- Causes externes

Les causes externes se divisent en causes naturelles et causes artificielles.

a. Causes externes naturelles

✓ **L'érosion en nappe:** L'érosion en nappe dégénère très rapidement en érosion en rigoles puis en ravins, et nous sommes ramenés au cas suivant : formation d'un ressaut (marche d'escalier de 50cm environ) à cause de l'érosion en nappe très sévère sur la partie supérieure d'une vaste zone de sol nu, reculement de la paroi verticale du ressaut, approfondissement rapide dans la partie inférieure de la zone. L'approfondissement du ravin et le recul du talus créent une lavaka. Selon ce processus, elle prend souvent naissance à mi-pente.

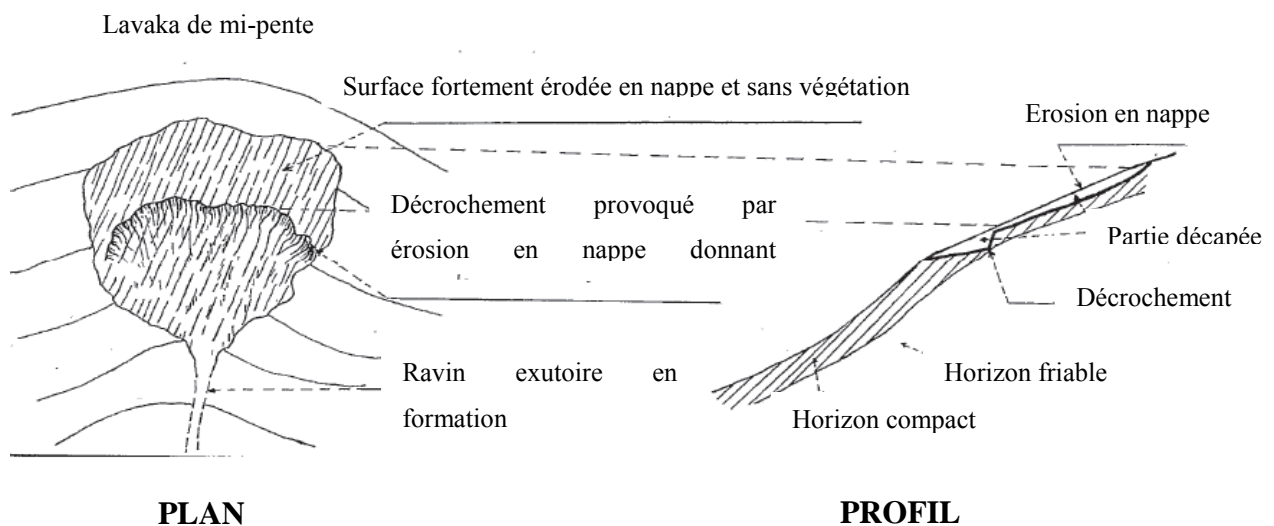


Figure 7 : Lavaka prenant naissance à mi-pente qui est causée par une intense érosion en nappe

Un ravin normal, collectant l'eau d'un versant, peut s'approfondir et dégénérer en lavaka.

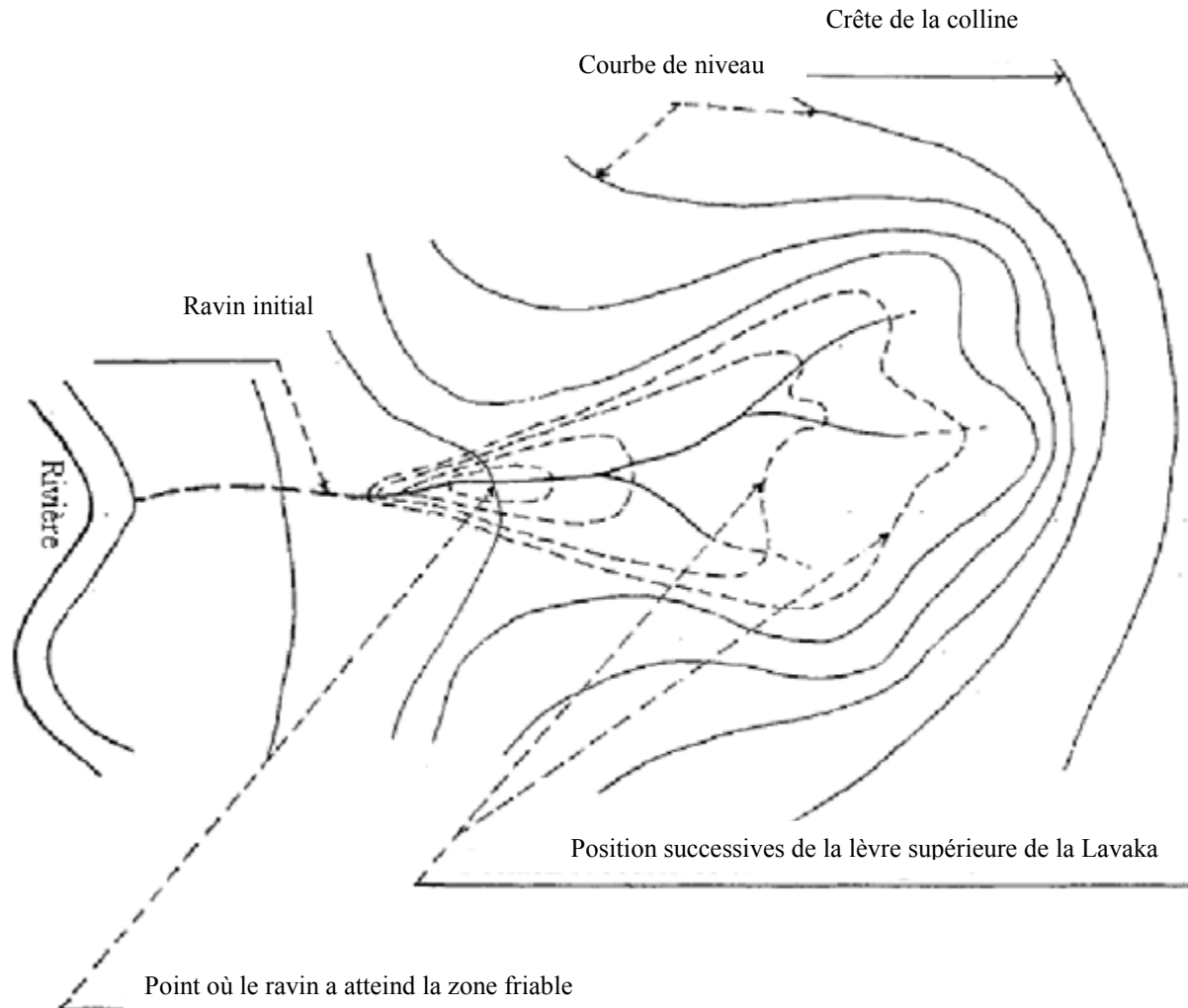


Figure 8: Lavaka causée par l'approfondissement et l'élargissement d'un ravin préexistant

✓ **Des glissements et effondrements de terrain** se produisent à mi-pente de la colline ou dans une dépression déjà existante. Le glissement provoque une fracture, un arrachement, souvent en arc de cercle et limité par un talus abrupt. L'eau, s'infiltrant dans les fissures, accentue le glissement et finit par entraîner toute la partie basse. Le talus recule et s'approfondit, par le phénomène de cascade ; la lavaka est créée. Le péril est d'autant plus grave que l'effondrement initial mis à nu, sur la paroi du talus, la zone friable d'altération de la roche.

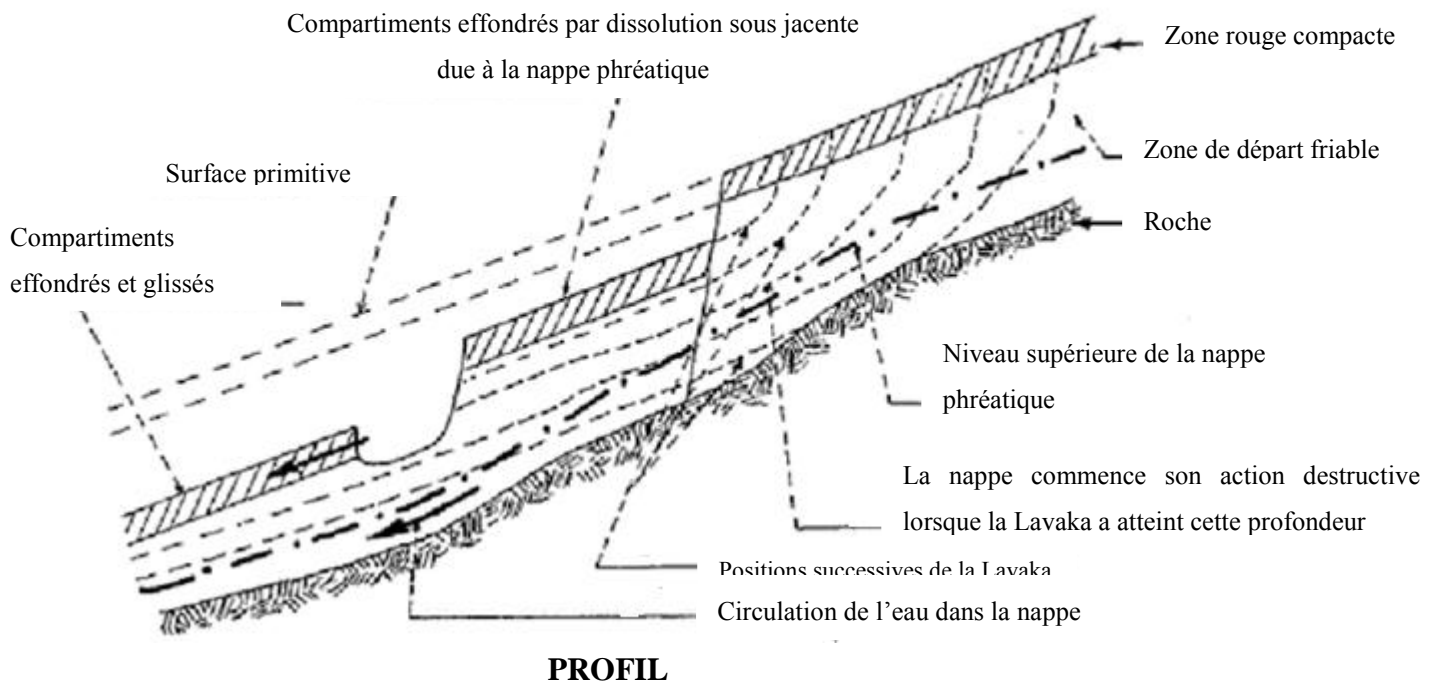


Figure 9: Lavaka causée par des glissements et des effondrements de terrain

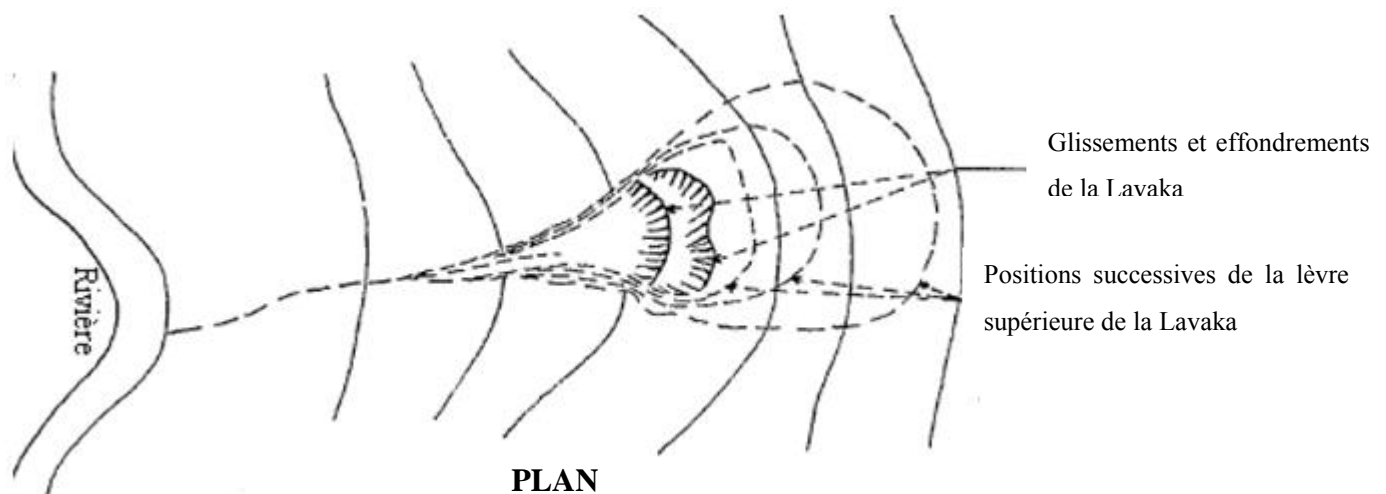


Figure 10: Lavaka causée par des glissements et des effondrements de terrain

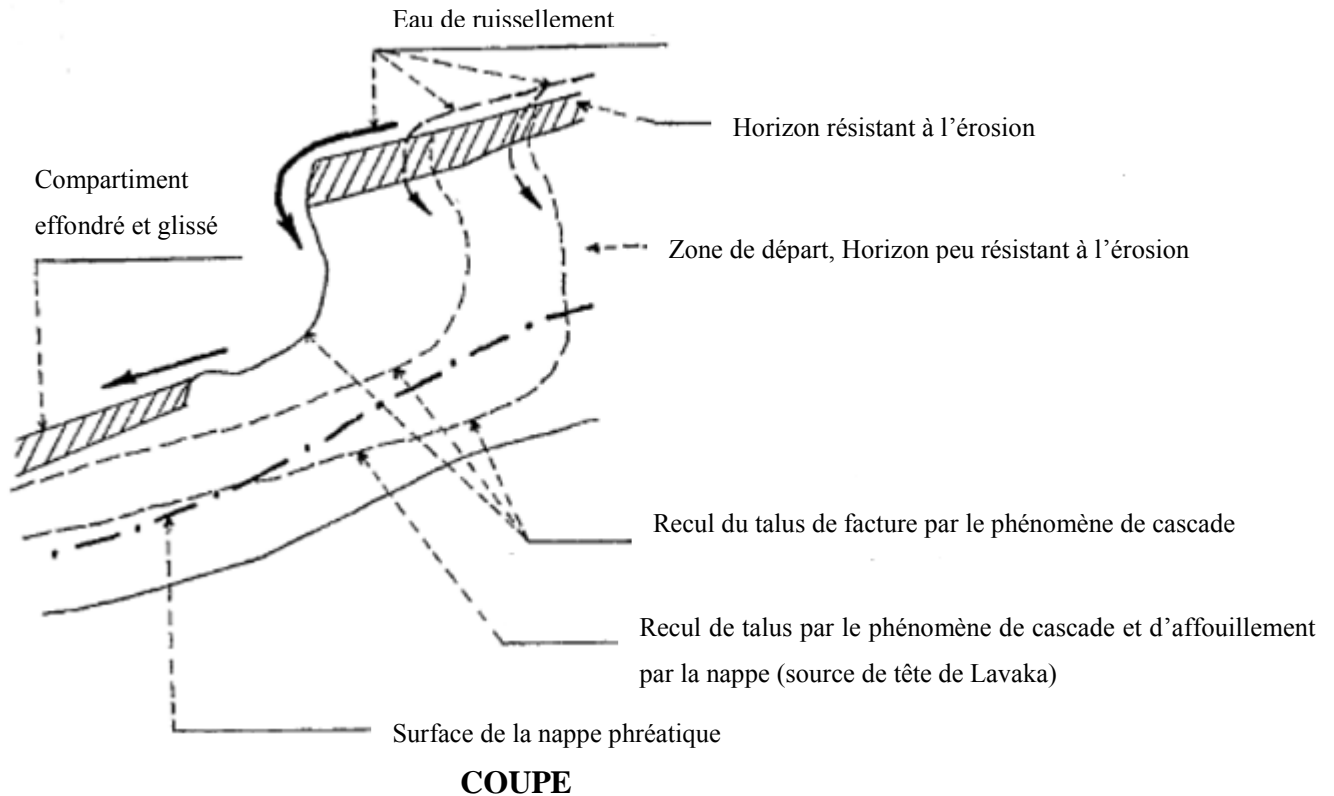


Figure 11: Schéma représentant le recul de la paroi et expliquant sa verticalité par l'existence d'un horizon supérieur cohérent.

Un fleuve ou une rivière peut entailler la colline contre laquelle elle butte. Le méandre, décapant la base de la colline et entraînant la terre, provoque bientôt un abrupt. La zone blanchâtre d'altération de la roche est mise à nu. Elle est très érodable. Le processus s'accélère, des pans de montagne s'effondrent. Si, par hasard, l'eau de ruissellement du versant se déverse en cascade par l'intermédiaire de cette falaise, une érosion régressive commence. Nous obtenons une lavaka à base très large qui cette fois a débuté par le bas de la pente.

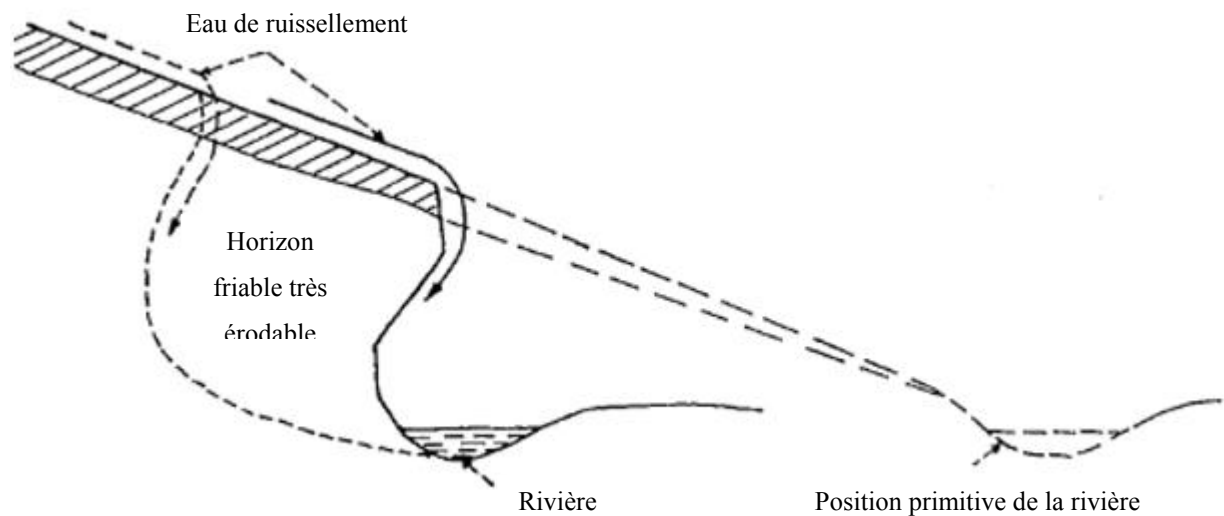


Figure 12: Coupe du Genèse d'une Lavaka à partir du talus d'érosion d'une rivière.

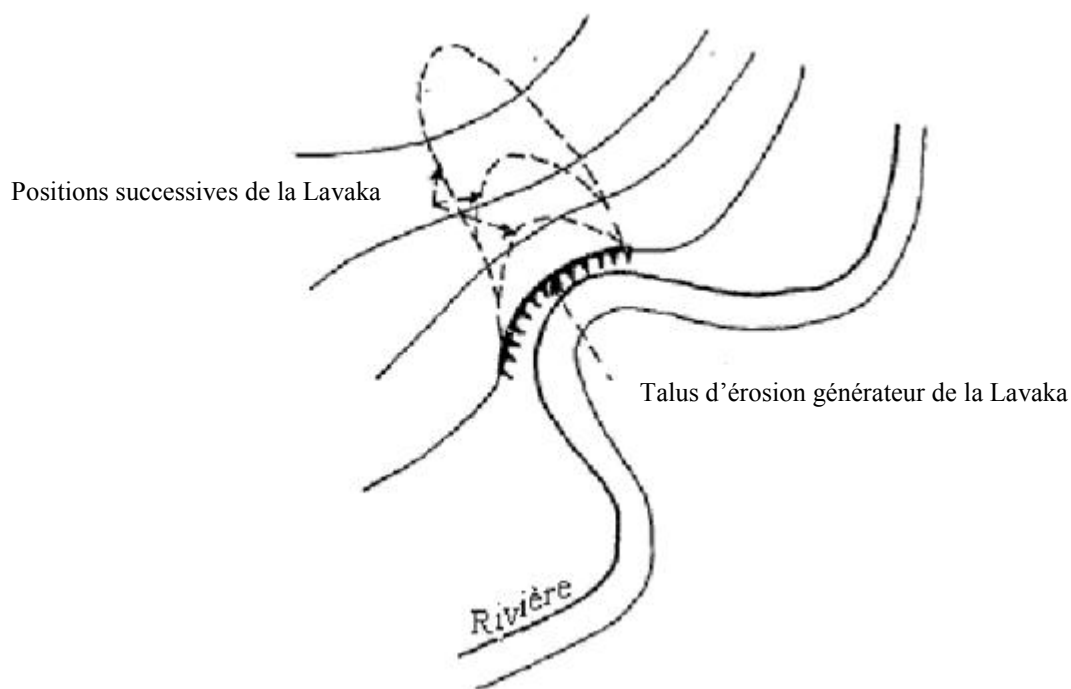


Figure 13: Plan du Genèse d'une lavaka à partir du talus d'érosion d'une rivière.

b. Causes externes artificielles

L'homme a souvent été considéré comme le seul agent responsable de cette forme catastrophique de l'érosion. Ce point de vue nous paraît cependant abusif. En fait celui-ci n'intervient qu'indirectement pour favoriser la formation d'une lavaka. Il adopte des modes de

mise en valeur du milieu agressifs et miniers mais ces modes paraissent agressifs.

✓ Economie de rente forestière (agriculture sur défriche forestière) jusqu'à disparition quasi-complète de la forêt ;

✓ Economie de rente fourragère (élevage extensif du dix-septième siècle jusqu'à il y a une vingtaine d'années) s'accompagnant d'une très forte dégradation des couvertures herbeuses succédant à la forêt d'origine ;

✓ Economie de rente ripicole (défriche des marais soumis à une riziculture ne prévoyant aucune restitution de la fertilité), qui a entraîné depuis quarante ans un assèchement des altérites par la descente générale des nappes phréatiques et n'est sans doute pas étrangère au fait que c'est précisément au Lac Alaotra que l'on observe les plus grands lavaka.

La destruction des couvertures végétales et la perturbation des flux hydriques ainsi provoqué revêtent une importance essentielle dans la genèse des lavaka. Le processus de lavakisation s'est précipité plus encore lorsqu'on a pu s'adjoindre des cisaillements d'origines anthropiques :

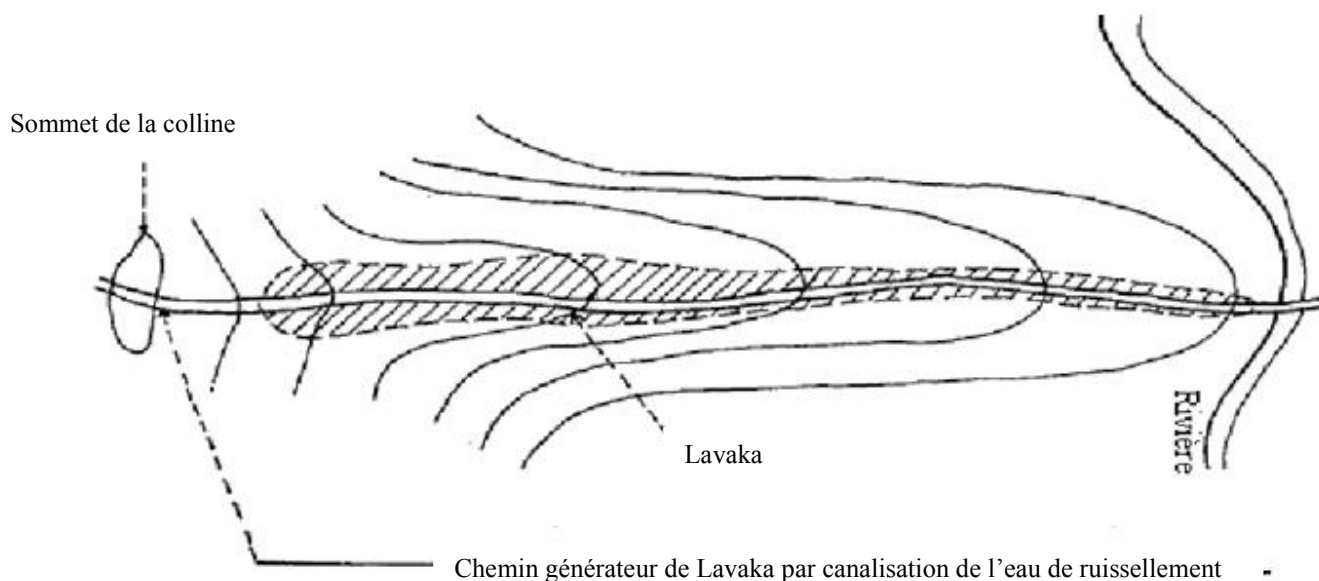
✓ Les fossés de protection, destinés à empêcher l'eau de ruissellement de se déverser sur une route ou d'éroder un talus, de même que les propres fossés d'écoulement de la route sont parfois générateurs de lavaka. L'eau, souvent surabondante pour la largeur du fossé, ou la pente trop forte, provoque une érosion très profonde qui scie la couche cohérente du sol.

✓ Lorsque l'eau atteint la zone affouillable, le fossé s'élargit, les parois s'effondrent, une lavaka se crée. Les fossés anti-érosion, établis pour éviter l'érosion en nappe dans les cultures, peuvent causer la même catastrophe si leur conception est mauvaise. Les fossés d'absorption peuvent provoquer des glissements de terrain en saturant les couches inférieures du sol. Une étude du sous-sol doit être faite avant toute construction de ce genre.

Les anciens villages malgaches, élevés sur le sommet des collines, étaient généralement ceinturés d'un profond fossé, destiné à la protection contre tout envahisseur ou pillard. Ce fossé collectait l'eau de l'air circonscrite et l'écoulement se faisait par un ravin sur un des flancs de la colline. Là encore, la concentration de l'eau en un point a souvent créé une lavaka.

Les chemins de piétons, les passages de bœufs, détruisent la couverture herbacée, dispersent l'argile par temps humide. Enfin l'usure par frottement détache une poussière fine en saison sèche que le vent emporte. Tout contribue à la formation d'une dépression longitudinale, qui sera empruntée de préférence par les eaux pluviales. Nous assisterons, comme dans le cas du

ravin, à un creusement, un élargissement de cette dépression initiale lorsqu'elle aura atteint la zone affouillable.



PLAN

Figure 14: Lavaka crée par un chemin qui a canalisé l'eau de ruissellement

II.2- Causes internes

Les causes internes de la lavaka sont liées à la nature du sol et à la nature de la couverture végétale du milieu.

Si le profil naturel d'un sol latéritique prédispose aux lavaka par la cohésion de son horizon supérieur rouge, compact, assez épais, il peut arriver que l'érosion en nappe ait complètement décapé cet horizon. On assiste alors souvent à la formation d'une croûte terreuse, de quelques millimètres à deux ou trois centimètres, consolidée par des lichens et formée directement sur la zone de départ friable. Cette croûte terreuse sur laquelle l'eau glisse sans érosion, suffit à protéger l'horizon sous-jacent. Si elle est entamée, la lavaka commence directement dans l'horizon friable. Elle sera d'autant plus spectaculaire, qu'elle sera plus profonde.

Comme l'approfondissement est limité par la roche mère sous-jacente, les plus belles lavaka se trouveront dans les sols les plus épais. Ce cas est très fréquent dans les anciennes pénéplaines.

La roche s'altère plus rapidement en profondeur que l'érosion n'enlève la partie superficielle du sol et les phénomènes de sédimentation, d'alluvionnement, de colluvionnement, sont actifs. Après pénéplanation, on assiste très souvent à un nouveau cycle d'érosion, c'est alors

que la pénéplaine est entaillée de toutes parts par les lavaka.

Si la lavaka se forme directement dans une argile latéritique formée in situ, la roche doit être profondément altérée, sont celles qui résistent le moins aux agents chimiques de désagrégation.

Par contre les roches riches en minéraux ferromagnésiens, telles que les gabbros, basaltes, etc. donnent des sols et surtout des zones d'altération moins épaisses, donc des formes d'érosion moins profondes. De plus le sol provenant de ces roches se divise en de multiples agrégats sans cohésion entre eux. Les talus ne peuvent donc rester verticaux. Nous assistons à la formation de ravin en V très ouvert et non à une lavaka.

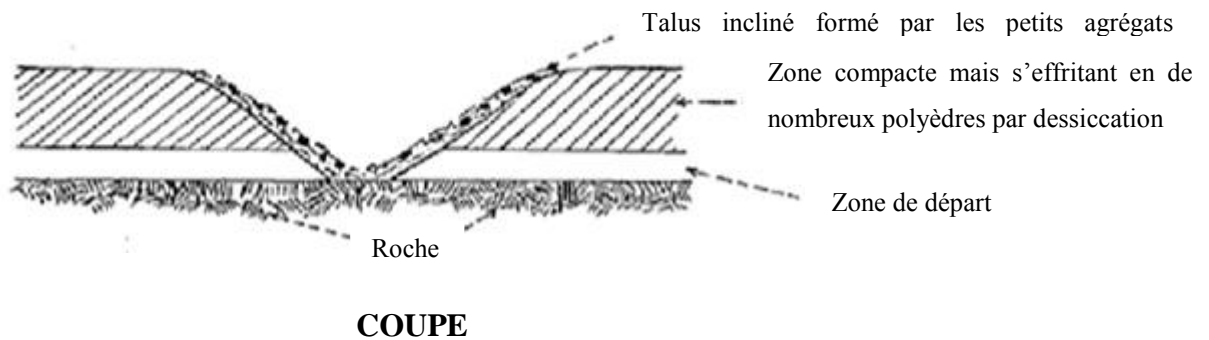


Figure 15: Forme d'un ravin sur roche basique : basalte, gabbro, etc.

Les quartzites donnent des arènes sableuses sans lavaka. Cependant les filons de quartz dans un gneiss freinent l'érosion, ils restent en relief et ralentissent l'arrachement par l'eau des matériaux plus meubles.

Les cendres volcaniques peuvent être considérées comme une roche meuble homogène. Si le sol est vieux, latéritique, un horizon rouge ou un brun compact existe à sa surface et nous aurons des lavaka assez semblables à celles que l'on trouve sur les gneiss.

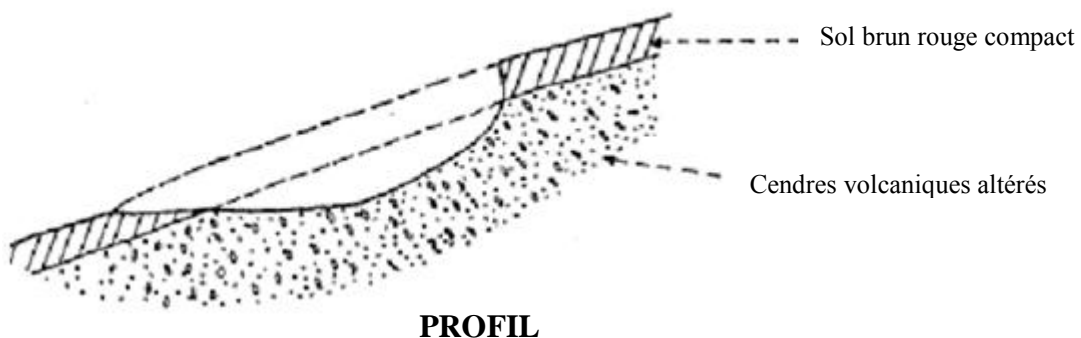


Figure 16: Lavaka dans un vieux sol latéritique sur roches volcaniques.

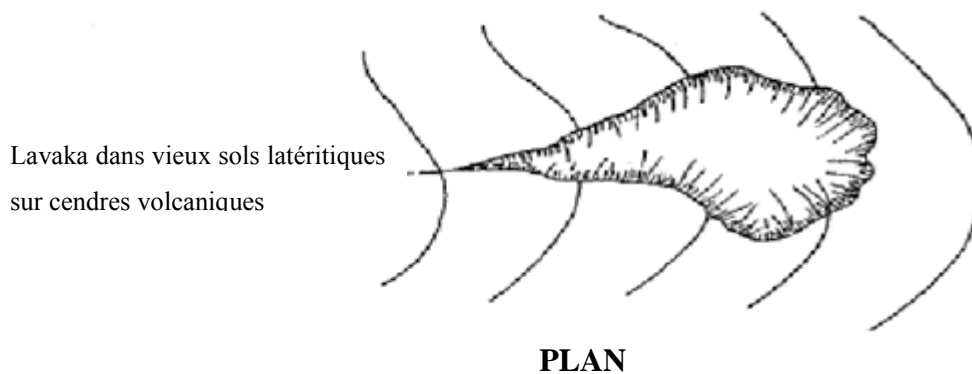


Figure 17: Lavaka dans un vieux sol latéritique sur roches volcaniques.

Si le sol est jeune, peu épais, il est lui-même poudreux, cendreux, sans cohésion, il se forme alors des ravins très profonds allant du haut en bas de la colline, rarement ramifiés, sans ressaut en marche d'escalier comme dans les lavaka typiques.

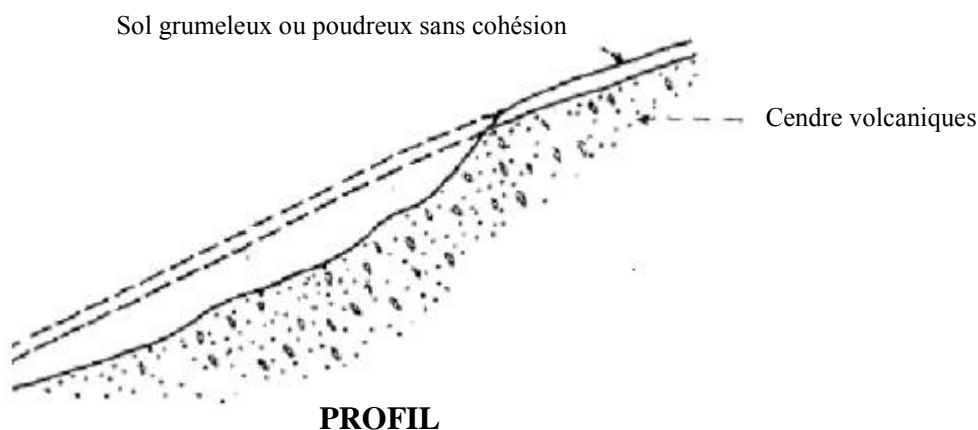


Figure 18: Ravin linéaire sur cendres volcaniques fraîchement épandues

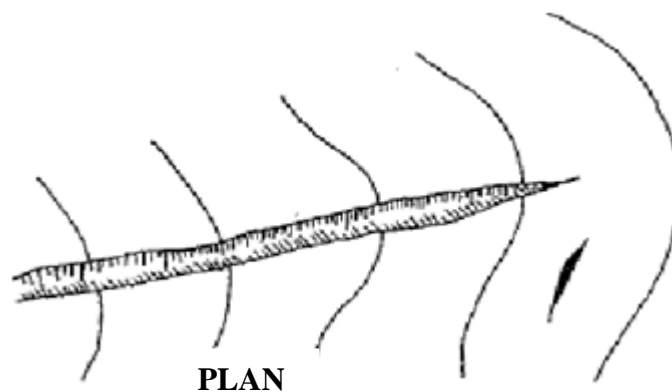


Figure 19: Ravin linéaire sur cendres volcaniques fraîchement épandues

Si la roche influe sur la forme d'érosion, la végétation joue aussi son rôle.

Il n'y a pas de lavaka en forêt pour plusieurs raisons : l'érosion en nappe est moins sévère, les racines retiennent le sol, l'horizon superficiel est meuble et perméable, l'humidité plus constante empêche les fentes de dessiccation. Seuls des ravins peuvent se former. Les glissements lents sont très fréquents, mais difficiles à voir. On constate souvent, après déboisement, des loupes de solifluxion. Si une lavaka a tendance à se former, elle est rapidement reprise par la végétation et stabilisée.

Sous savoka les conditions sont les mêmes mais beaucoup moins accentuées, quelques lavaka peuvent apparaître.

Sous prairie le sol durcit, devient compact sur une assez profondeur, de grandes fentes de dessiccation se produisent pendant la saison sèche. Le sol possède un point de flétrissement, présente de fortes pertes par évaporation, une haute densité, il ne permet plus la croissance des plantes. Sans végétation le ruissellement devient intense, toutes les conditions sont réalisées pour la formation des lavaka.

En résumé, les lavaka les plus profondes, atteignant quelquefois 50m, se produisent surtout sous prairie, dans les zones à gneiss, granit et schiste métamorphique, ou dans les pénéplaines. Les conditions optima sont :

- ✖ Un horizon superficiel, argileux, compact, de 0.20 à 5m ou une croûte terreuse à lichen ;
- ✖ Une zone d'altération de la roche la plus épaisse possible.

Nous avons passé en revue les principales causes de formation des lavaka :

✓ **Externes** : déforestation, feux de brousse, abus de pâturage, concentration du ruissellement par routes, sentiers, fossés, passage de bœufs, etc. ;

✓ **Internes** : horizon compact superficiel de peu d'épaisseur relative sur une roche pourrie altérée profondément.

Nous n'avons cité que les cas les plus courants, mais des accidents imprévisibles peuvent déclencher le processus de lavakisation. On peut aussi citer, par exemple :

L'origine paléo climatique : F.BOURGEAT en 1970, intègre les lavaka dans l'étude de morphologie climatique de Madagascar. Il met une relation la formation des lavaka avec l'encaissement du réseau hydrographique qui est lui-même étroitement lié à la tectonique.

Les régions à forte densité de lavaka du Lac Alaotra et d'Antanetibe correspondent à un ensemble de bloc soulevé.

L'origine cyclonique : Les zones fortement érodées des retombées occidentales des hautes terres comme Tsiroanomandidy, Belobaka sont sur les passages répétés et les actions conjuguées des cyclones du canal de Mozambique (janvier-février) et des pluies de Mousson (décembre-avril). Les précipitations cycloniques sont très érosives par leur intensité (600mm à 700mm d'eau avec fortes rafales de vents à plus 300km /h) et par leur période de concentration : 4 à 5 jours.

III- CLASSIFICATION

Les lavaka peuvent classer :

- * D'après leurs formes en plan : forme bulbeuses, dendritiques, composées, ovalaires, en éventail. Les ravins sont au contraire linéaires, parallèles ou ramifiés ;
- * D'après la forme en coupe des parois, elle-même en relation avec la forme en plan de tête de lavaka. Une paroi verticale correspond à une forme arrondie ; une paroi excavée à une excroissance de la courbure générale.

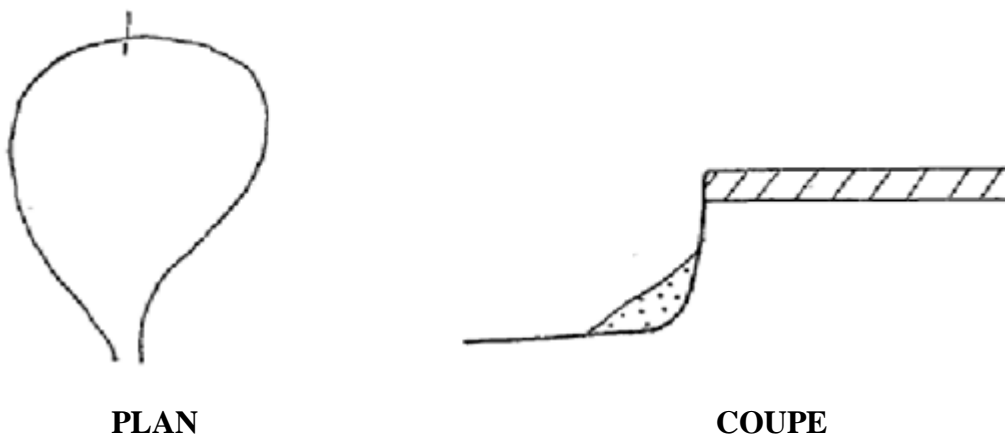


Figure 20: formes des lavaka

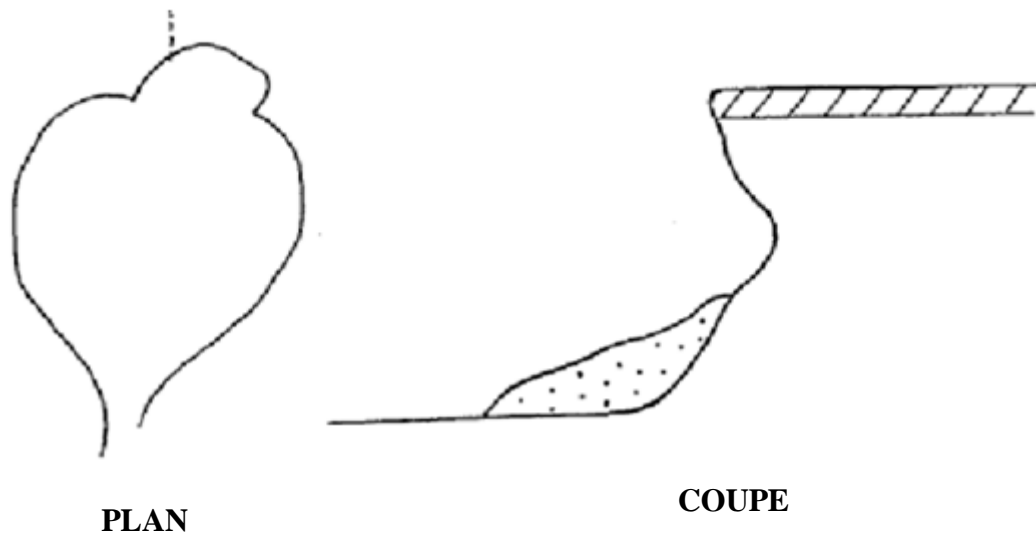


Figure 21: formes des lavaka

En général, les lavaka sont PIRIFORMES (en forme de poire) allongées dans le sens de l'écoulement. Toutefois en milieux granitiques, elles sont fréquemment de forme ovoïde.

A Madagascar, on a pu identifier deux types de lavaka. Le premier est associé à une surface sursaturée se trouvant à mi-versant. Il est caractérisé par sa forme en canaux d'érosion dendritiques dépourvue de végétation. Sa largeur peut s'étendre de 100m jusqu'à 1km. Le deuxième type est en forme de bol avec un diamètre compris entre 0.5 et 1km, situé sur le sommet d'une pente.

Selon leur stade d'évolution, on distingue aussi des :

- Lavaka actives ;
- Lavaka en voie de stabilisation ;
- Lavaka mortes.

IV- STADES D'EVOLUTION DES LAVAKA

IV.1- 1^{er} stade

Le ruisseau canalisé par un ravin naturel, un sentier, un passage de bœufs, etc. creuse l'horizon argileux superficiel. Cet horizon étant de texture uniforme et compact, résiste assez bien à l'érosion. Cependant une partie de l'argile n'est pas coagulée, elle se disperse dans l'eau et est

entraînée. L'eau devient trouble et le sable libéré se dépose dans le fond du ruisseau. On peut d'ailleurs constater une séparation par lévigation du quartz des minéraux lourds tels que magnétites, ilménite, hématite. Si le courant est violent, le sable est lui-même entraîné, et, pris dans les tourbillons, il érode les parois du canal. Il creuse des cuvettes ou marmites de géant. Bientôt les marmites s'approfondissent, se rejoignent entre elles. L'argile est toujours entraînée par dispersion, on a l'impression que l'eau agit comme un véritable dissolvant. Les formes d'érosion sont un peu semblables à celle que l'on rencontre dans les calcaires. Le résultat final est un canal très profond, aux parois abruptes grâce à la cohésion du matériel.

S'il y a des fentes préexistantes par suite de la sécheresse, l'eau descend dans ces fentes, élargit son chemin, créant quelquefois des arches et des ponts naturels.

L'horizon argileux rouge est véritablement scié par le ravin jusqu'à ce que l'eau atteigne la zone de départ ou roche pourrie. Ce premier stade passe souvent inaperçu, la surface intéressée est faible et cachée par les herbes. Mais le processus s'accélère lorsque l'eau a complètement percé l'horizon supérieur résistant, elle entraîne sans difficulté les matériaux sans cohésion de la zone de départ (constitués de quartz et feldspaths altérés). Elle affouille la base des parois du canal qui déjà verticales s'effondrent rapidement, le canal initial s'élargit, une petite lavaka est formée. Il est évident qu'il se produit un ressaut vertical à l'endroit où l'eau quitte la partie compacte à moitié sciée pour tomber dans la zone friable. Ce ressaut est à l'origine de la paroi verticale tête de lavaka.

Lorsque la cause première est un glissement, nous passons presque directement au deuxième stade d'évolution par recul du talus provenant de la fracture.

Si la cause première est une érosion en nappe sévère, on peut, soit passé par les stades petits ravins, qui s'approfondissent comme ci-dessus, soit par le recul de la marche d'escalier par phénomène de cascades.

IV.2- 2^{ème} stade :

C'est le stade de maturité du développement grandiose de la lavaka. Plusieurs phénomènes entrent en jeux mais nous insistons plus particulièrement sur l'érosion et recul de la paroi verticale. Cette paroi verticale recule par :

✱ Usure directe de la paroi verticale par l'eau coulant le long de celle-ci. Elle humidifie la zone friable. Une tranche verticale saturée d'eau se trouve alors en contact du sol sec. Par son poids, le sol humide s'écroule et laisse une excavation qui s'agrandit petit à petit. La lèvre au-dessus de cette excavation finira par s'effondrer.

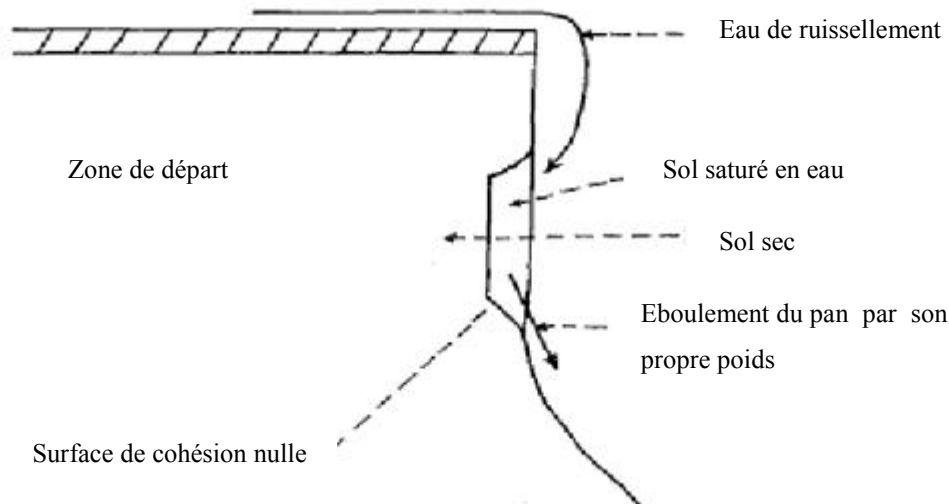


Figure 22: Un des phénomènes élémentaires expliquant les excavations à la base de la paroi

✱ L'existence des fentes de dessiccation : pendant la saison de pluie, l'eau se précipite dans ces fentes et affouille la partie inférieure. Ceci entraîne un grand effondrement.

Ces fentes ont plusieurs origines :

- ✓ La dessiccation des argiles rouges durant la saison sèche, aux endroits de plus faible résistance ;
- ✓ Les racines qui entraînent un assèchement local ;
- ✓ Le gonflement des racines qui provoque la rupture de la couche compacte ;
- ✓ La poussée lente des terres au niveau de la partie supérieure de la paroi verticale. Le bloc de terre, tenue à la base par les éboulis, poussé en haut, a tendance à basculer ; une fente de rupture se produit parallèlement au mur de la lavaka.
- ✓ Le glissement d'un bloc terreux le long de la roche : ce phénomène se produit quand la nappe phréatique ou l'eau entrée dans les fentes transforme la zone de départ en masse visqueuse et quand la roche possède une déclivité. Ces glissements sont encore facilités par les lits micacés, sur lesquels le frottement est très faible, et en plus, les surfaces étant lubrifiées par l'eau.

- ✓ L'affaissement d'un bloc de terre due à une disparition de matière : en sous-sol, l'eau travail énormément : elle entraîne la silice et même le kaolin sous forme colloïdale. Elle provoque alors des vides par perte de matériaux. Des pans de latérite s'affaissent. On obtient une espèce de cheminée de fée qui correspond à la partie affaissée. Cette partie garde encore sa couverture herbacée qui la protège de l'érosion. Elle reste sur la place, sans se basculer, tant que l'érosion n'attaque la base. Les mêmes phénomènes se produisent au cas où, pendant son approfondissement, le fond de la lavaka atteint la nappe phréatique.

L'approfondissement de la lavaka est causé par l'érosion régressive des éboulis qui sont des matériaux très meubles. Le sol est perpétuellement remué et souvent recouvert par de nouveau éboulis. Ainsi, il n'existe aucun végétal qui peut protéger les éboulis de l'érosion. Ils sont facilement entraînés par l'eau.

IV.3- 3^{ème} stade :

La progression de la lavaka diminue de plus en plus l'aire de drainage. Les phénomènes agissant sur les parois verticales deviennent de moins en moins actifs.

L'eau qui ruisselle la colline cesse d'éroder les murailles et la partie supérieure des éboulis. En s'accumulant, ces derniers atteignent bientôt la surface topographique, ils font disparaître la paroi verticale et suppriment ainsi les éboulements.

La nappe phréatique s'assèche ou disparaît en profondeur sous les éboulis. Le canal de sortie s'obstrue parfois par les éboulements latéraux se produisant dans la partie basse.

Les sédiments sont retenus, relevant le niveau de base et bouchent peu à peu l'excavation.

Les talus ayant atteint leur équilibre, la végétation peut s'établir. Des mousses, des lichens, des graminées, enfin des arbustes et des arbres s'installent profitant de l'humidité relative des fonds de lavaka et de la richesse du sol (les éboulis renferment de nombreux minéraux en voie d'altération provenant de la zone de départ). La végétation forme souvent une petite forêt galerie le long de l'exutoire et gagne peu à peu tous les talus. On peut parler d'une véritable régénération de la forêt grâce à l'érosion régressive. Tous les angles s'arrondissent, les abrupts disparaissent, il reste une vaste dépression.

V- IDEES GENERALES SUR LA LUTTE CONTRE LES LAVAKA

On doit prévenir leur formation et non chercher à les arrêter en pleine évolution. Il est en effet très facile de bloquer un petit ravin de 1m de profondeur au maximum avant qu'il ait atteint la zone critique. Des petits barrages en pierres sèches, des fascines, etc. Contrôlent facilement l'approfondissement.

Il est aussi facile de boucher les ornières qui se forment dans les chemins. Il faut d'autre part éviter l'amincissement de la couche protectrice par l'érosion en nappe. La lutte contre les feux de brousse, le surpâturage, etc. Sont des moyens de prévention. Les ravins ne prennent naissance que lorsque l'érosion en nappe est déjà intense.

En général, le coût du contrôle d'une lavaka dépasse largement la valeur du terrain protégé. Elle ne s'attaque qu'aux terrains très pauvre, incultivables. Par contre, les limons ou « baiboho » qui naissent de ces érosions sont relativement fertiles. La lutte ne s'impose et n'est rentable que dans des cas particuliers : lavaka coupant une route par exemple. Les moyens envisagés sont multiples, le choix de ces moyens dépend du stade d'évolution et des processus d'érosion les plus influents. Il faut mettre en action plusieurs moyens à la fois. Citons les plus courants : éviter le ruissellement sur la partie supérieure par reboisement, dériver les eaux de ruissellement par des fossés de protection à la tête de la lavaka, développer la végétation sur les talus, barrer l'exutoire pour relever le niveau de base.

Beaucoup d'écueils doivent être évités. Un reboisement juste au-dessus de la lavaka a peu d'effet. Les racines facilitent les fentes de dessiccation, le poids de l'arbre écroule les parois. Le fossé de protection ne doit pas causer lui-même une autre lavaka : il doit être très large, peu profond, enherbé ou cimenté. La lavaka continuera cependant à progresser tant que le profil d'équilibre du talus ne sera pas atteint. Il faut avancer ce moment, en écrêtant les parois verticales, en comblant l'excavation au bulldozer, en barrant l'exutoire. La stabilisation par la végétation ne peut s'envisager que lorsque les talus sont en équilibre.

Les procédés de lutte ne sont pas standards. Une étude détaillée préalable de chaque lavaka permettra à un spécialiste de préconiser les remèdes les plus appropriés.

PARTIE.2: LES OUTILS D'INVESTIGATION

CHAPITRE.1: LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

I- OBJECTIF

Le SIG est outil utilisé pour générer les statistiques des lavaka grâce au MNT.

II- DEFINITIONS

Le SIG est un système informatique de matériels, de logiciels et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage des données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion. C'est également un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire des synthèses utiles à la décision.

Un SIG est un logiciel qui permet d'organiser d'une façon quasi exhaustif le traitement des données géographiques. Il permet notamment :

- La création et la récupération des données sous divers formats, en mode vecteur, comme en mode raster ;
- La gestion de ces données (SGBD) ;
- La représentation graphique de ces données ;
- L'analyse de ces données par des requêtes attributaires dans la base de données et leur visualisation graphique ;
- L'analyse de ces données par des requêtes spatiales ;
- L'édition des résultats de l'analyse sous forme cartographique ;

III- COMPOSANTES D'UN SIG

Un SIG est constitué de cinq composants majeurs :



Figure 23 : Composantes d'un SIG

III.1- Matériel

L'analyse et le traitement des données se fait par l'intermédiaire des logiciels d'un ordinateur. Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs : des ordinateurs utilisés de façon autonome, des serveurs de données client-serveur en intranet ou bien via internet permettent une diffusion large mais également efficace des données ainsi que des résultats.

III.2- Logiciels

Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions nécessaires pour stocker, analyser et afficher toutes les informations :

- ✱ Outils pour saisir et manipuler les informations géographiques ;
- ✱ Système de gestion de base de données ;
- ✱ Outils géographiques de requête, analyse et visualisation ;
- ✱ Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.

III.3- Données

Les données sont les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées sont soit constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données (ex : FTM).

III.4- Utilisateurs

Un SIG étant un outil, c'est son utilisation qui permet d'exploiter son potentiel. Avec Internet, de plus en plus de logiciels de SIG apparaissent et le nombre d'utilisateurs s'agrandit de jour en jour. Il est à noter que les experts ne sont pas les seuls utilisateurs de logiciels SIG, d'autant plus que beaucoup de logiciels favorisant l'accessibilité du plus grand nombre aux méthodes de cartographie et d'analyse de données géographiques voient le jour. Cependant, pour faire une interprétation exacte des résultats obtenus, il est nécessaire d'avoir une connaissance de base sur la nature des traitements effectués par les logiciels.

III.5- Méthodes

La mise en œuvre et l'exploitation d'un SIG doit s'effectuer en respectant certaines règles et procédures propres à chaque organisation.

IV- LES FONCTIONNALITES ET LIMITES D'UN SIG

IV.1- Traitements sémantiques et géométriques

Les SIG sont capables d'effectuer les fonctions de traitement de données purement sémantiques du SGBD qu'ils utilisent comme les fonctions de sommations, de calculs statistiques divers, de comptages, etc.

Les SIG possèdent également des fonctions purement géométriques de calcul de longueur ou de surface, et peuvent aussi effectuer la recherche d'un point le plus proche d'un autre point par exemple. De plus, certains SIG ont des fonctions de topométrie comme le calcul d'intersections.

IV.2- Requêtes spatiales

Ces requêtes sont très diverses et varient d'un SIG à un autre :

- ✱ Tout ce qui concerne les calculs d'itinéraires.
- ✱ Le regroupement de zones selon divers critères.
- ✱ Répondre aux questions du type « qui est dans quoi ? » ou bien « qui est proche de quoi ? ».
- ✱ Le simple fait de pouvoir sélectionner une entité de la carte avec la souris constitue également une requête spatiale.



Figure 24: sélection de certaines entités de la carte à l'aide de la souris

IV.3- Requêtes attributaires

Ces requêtes utilisent les valeurs des données attributaires. Elles consistent à formuler une question au SIG sous forme d'une condition puis de lui demander d'afficher les réponses sur la carte. Par exemple, on veut qu'il affiche toutes les communes dont le nombre d'habitants est supérieur à 1000 :

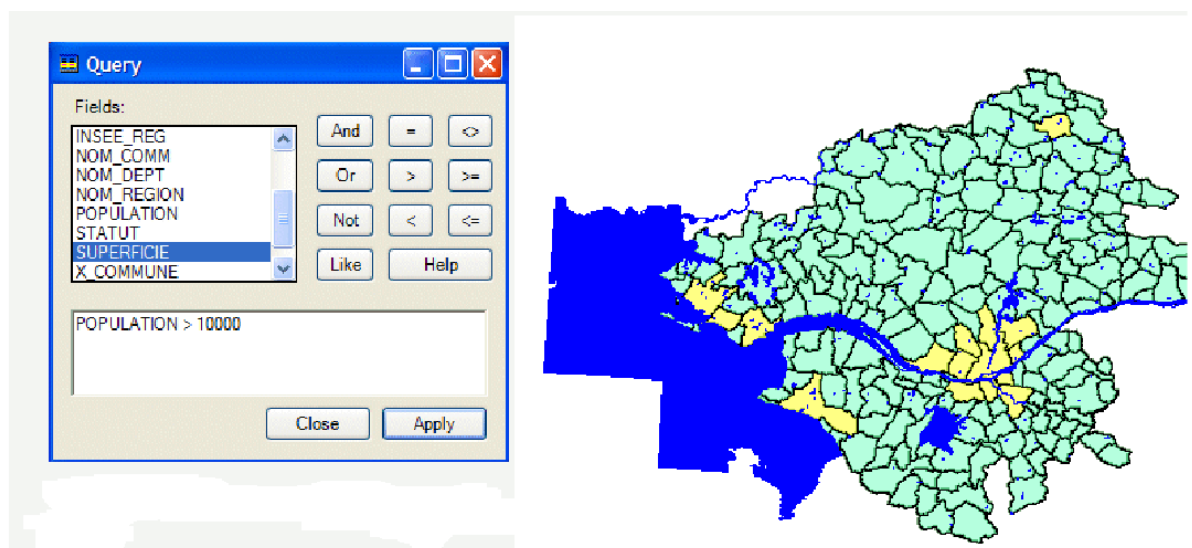


Figure 25: Toutes les communes dont le champ « POPULATION » contient un nombre supérieur à 1000 sont sélectionnées.

IV.4- Modification de couches

La plupart des SIG permet, en sélectionnant une couche bien précise, d'effectuer des modifications uniquement sur cette couche comme par exemple la masquer, changer sa représentation, etc.

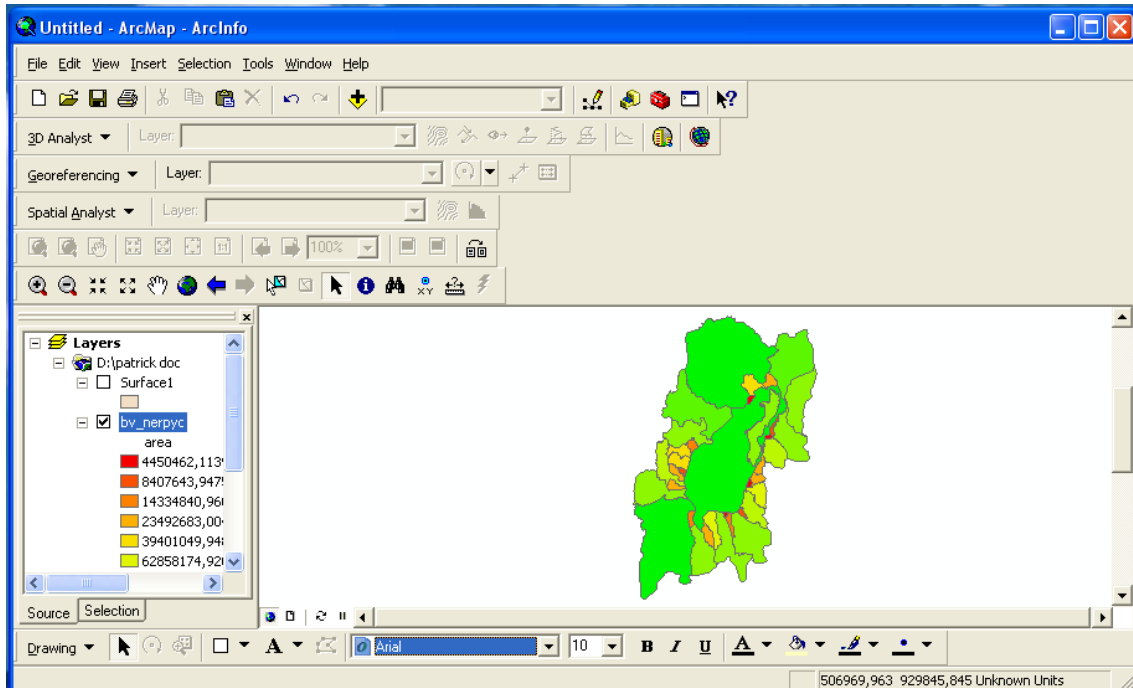


Figure 26: Affichage de la carte avec la couche « Voies routières » désactivée

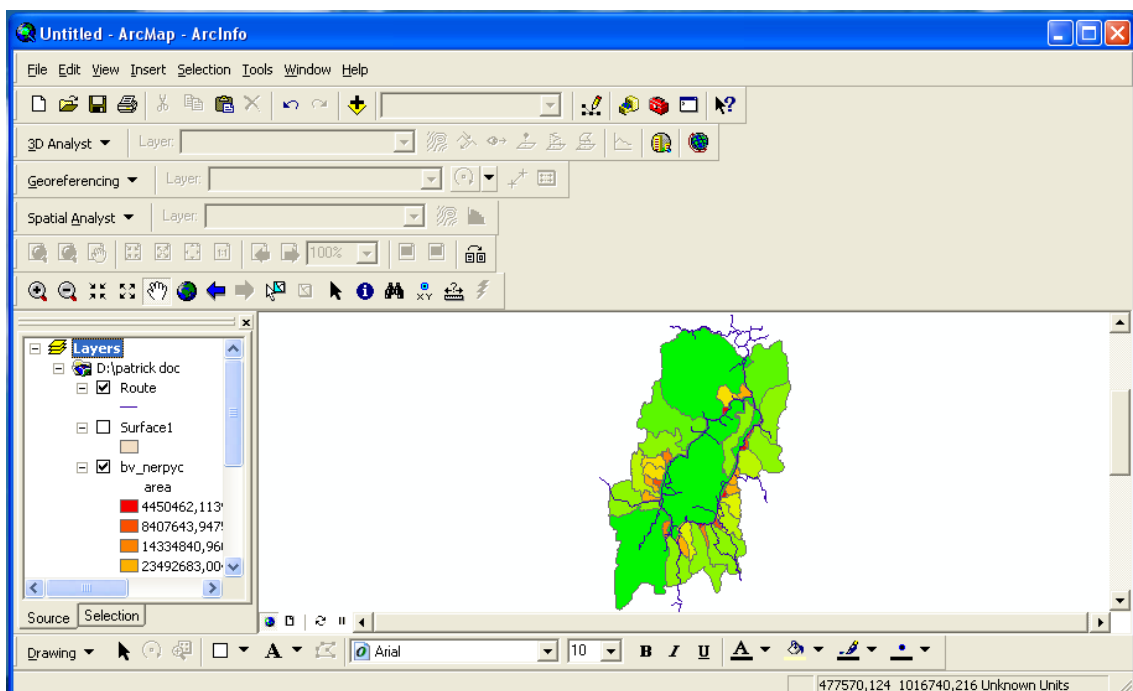


Figure 27: Affichage de la carte avec la couche « Voies routières » activée

IV.5- Edition de cartes

Le processus d'édition d'une carte avec un SIG est beaucoup plus souple qu'une production manuelle ou automatisée. Il commence par la création de la base de données, les informations existant sur support papier peuvent être digitalisées et toutes les autres sources informatiques intégrées au sein du SIG. Les cartes issues du SIG sont réalisées en fonction d'une localisation choisie, d'une échelle définie tout en faisant apparaître les informations souhaitées. La mise en évidence de certains phénomènes, la comparaison à différentes époques, la simulation d'hypothèses, etc. sont les avantages importants des cartes produites par un SIG.

IV.6- Limites

Le plus grand frein au développement des SIG concerne sans doute les bases de données associées aux différents logiciels. En effet, les mis à jours non effectués, la pauvreté de certaines bases de données, les restrictions d'accessibilité ainsi que les droits d'auteurs peuvent rendre difficiles la réalisation de cartes exactes. De plus, certaines requêtes demandent une puissance de calcul disponible ou bien un temps de calcul trop long.

V- LA STRUCTURATION DES DONNEES DANS UN SIG

V.1- Les données graphiques :

Il existe deux types de données graphiques visualisables dans un logiciel SIG : les données raster et les données vectorielles.

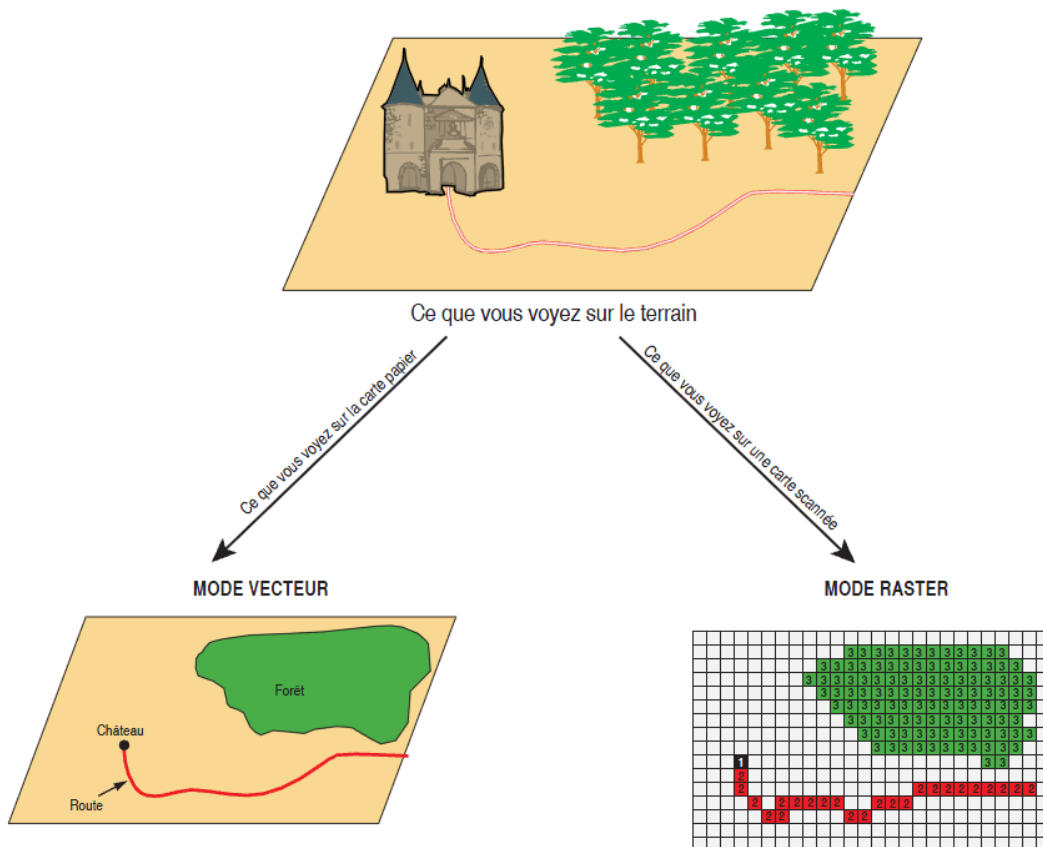


Figure 28: données graphiques visualisables dans un logiciel SIG

a - Les données vectorielles

Les éléments géographiques représentés grâce à des données vectorielles sont localisés par des coordonnées (x, y). Ils sont constitués de trois types d'entités : point, ligne, polygone. Les points servent à la représentation de symboles ponctuels : ville sur une carte, arbre sur une parcelle.

Les lignes servent à représenter les routes, rivières, voies de chemin de fer, flux

Les polygones servent à représenter tous les objets surfaciques : régions, départements sur une carte Madagascar, parcelle sur une carte communale.

Voici quelques exemples de format vecteur : ASCII, ARC/INFO, Arview shape , DXF, DXF3D, GMT, IDRISI (vct), MOSS, MapInfo (MIF/MID), TIGER, VRML , etc.

Le format Shape File est utilisé dans le cadre de ce travail. Considérons le cas du format Shape File, utilisé par Arcview ou ArcGIS : pour ce format, les informations sont stockées dans trois différents fichiers : un fichier SHP contenant les vecteurs et donc la géométrie (polygones,

lignes, points), un fichier DBF contenant la base de données correspondant aux attributs des vecteurs (fichier DBase DBF – lisible sous Excel de Microsoft) et un fichier index (SHX) de la géométrie des objets.

Les données vectorielles traitant les objets géographiques individuellement, c'est ce type de données qui va principalement servir pour la réalisation de cartographies statistiques. Elles permettent en effet d'individualiser des secteurs géographiques et d'y associer des attributs quantitatifs.

Ces données sont contenues dans un « fichier de formes ». Ce type de fichier de formes traite les diverses entités de façon indépendantes, sans relation spatiale. Ce type de structure est limitant quand on souhaite étudier des relations entre objets géographiques.

Les vectorielles sont toujours associées à une table d'attributs, contenant des données alphanumériques, qui peuvent être modifiées et enrichies.

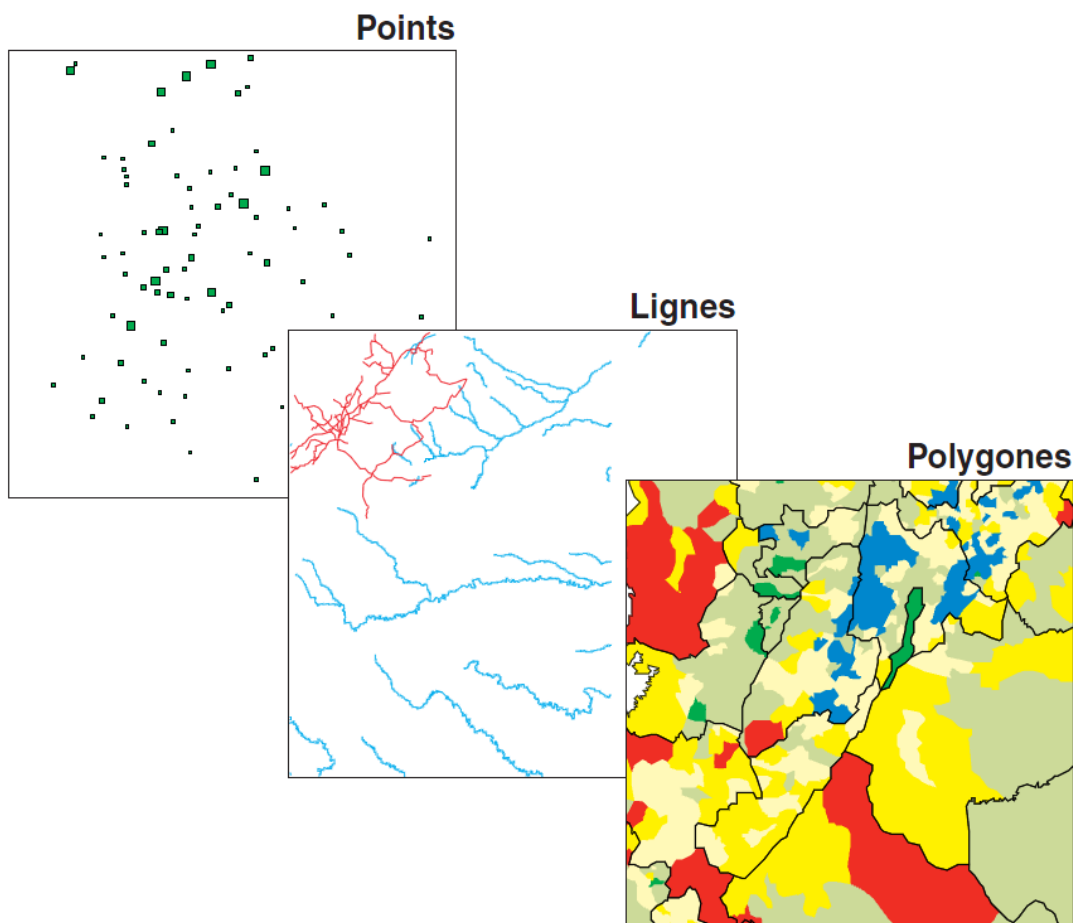


Figure 29: quelques exemples de format vecteur

b - Les données raster

Ce sont des images avec comme unité de base le pixel. Ces images ne permettent pas d'association avec des données alphanumériques en dehors des attributs de chaque pixel. Ces attributs sont peu intéressants pour l'utilisateur de SIG désirant réaliser des cartographies statistiques, puisque celui-ci ne peut connaître que les caractéristiques de chaque pixel de base, et n'a aucune information concernant un secteur géographique plus vaste. De plus, ces attributs ne sont pas modifiables et ne peuvent pas être enrichis d'autres informations.

Voici quelques exemples de format raster : ARC/GRID, GIF, JPEG, BMP, GMT, TIF, PNG, E00, etc. Mais dans cette étude on utilise le format GRID du MNT.

Exemples :

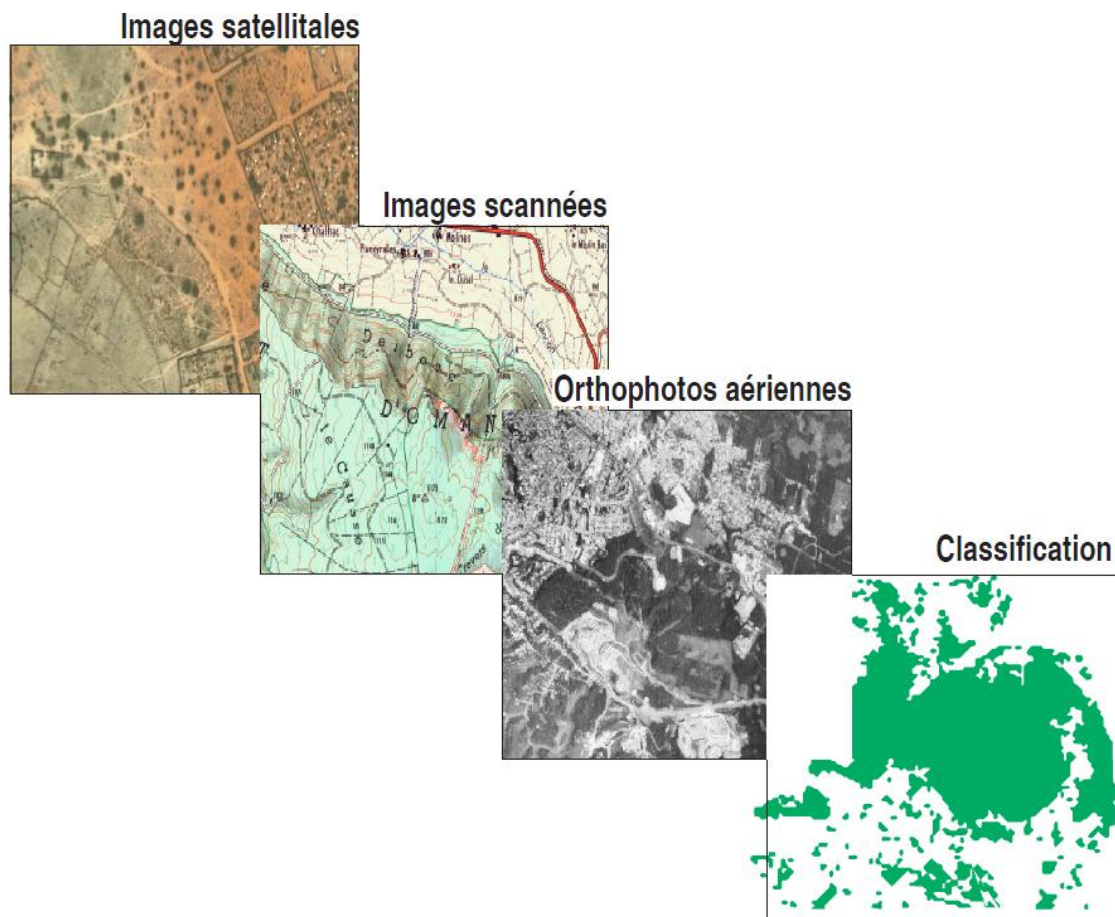


Figure 30: quelques exemples de format raster

c - Les avantages et contraintes de deux données sont résumés ci-dessous

	Vecteur	Raster
Avantages	Bonne représentation de la structure des données Structure compacte Topologie explicite permettant une bonne analyse en réseau Projection géographique et translation aisée Qualité de représentation aux différentes échelles L'extraction la mise à jour et la génération des données sont possibles	Structure simple de données Accès aux attributs simplifiés Facilité d'analyse spatiale Modélisation simplifiée du fait de la forme régulière des cellules Technologie bon marché Supports idéaux pour de nombreux types de données
Inconvénients	Structure complexes de données Intersection nécessitant puissance de calcul Visualisation et impression nécessitant important temps d'affichage Contenu homogène de chaque polygone rendant l'analyse spatiale impossible Simulation difficile car chaque polygone a une forme propre	Volume des données Perte d'information due au choix des cellules Moindre qualité esthétique Projections géographiques nécessitant algorithmes adaptés pour éviter distorsion de la grille

Tableau 5 : Les avantages et contraintes de deux données sont résumés ci-dessous

Le choix du mode de représentation dépend donc de la nature de la donnée et du type d'analyse à mener. Ainsi, la propagation d'une information dans un réseau se traitera plus facilement dans un mode vecteur. Par contre, une étude surfacique se fera préférentiellement en mode raster. Le raster serait ainsi plus adapté à l'interprétation du où et le vecteur à l'interprétation du pourquoi.

V.2- Les données alphanumériques

Les données alphanumériques sont l'ensemble des données qualitatives et quantitatives associées à chaque entité du fichier de formes.

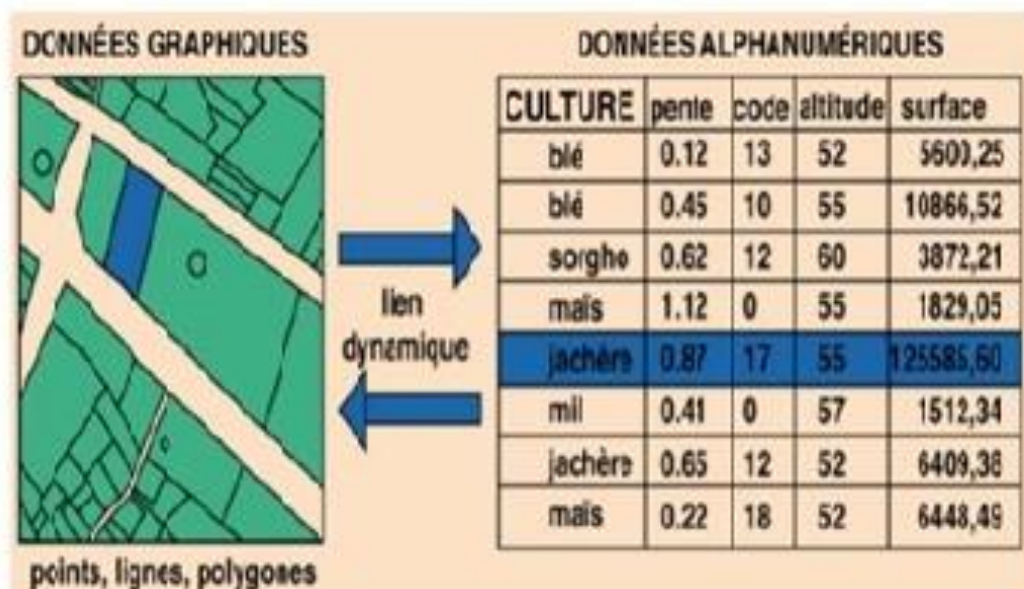


Figure 31: Exemple des données alphanumériques

Les données attributaires d'un objet géographique sont des données alphanumériques, que l'on peut : Exemple des données alphanumériques organiser sous forme de fiches descriptives. Une fiche correspond à un objet. Ces données sont prises en charge par des outils informatiques spécifiques : les systèmes de gestion de base de données (S.G.B.D). Ils permettent d'organiser, de mettre à jour, d'interroger et de prendre en charge les relations logiques entre les données alphanumériques. Il existe plusieurs modes pour stocker ce type de données. Nous utiliserons de modèle relationnel qui structure l'information dans des tables qui possèdent des liens entre elles.

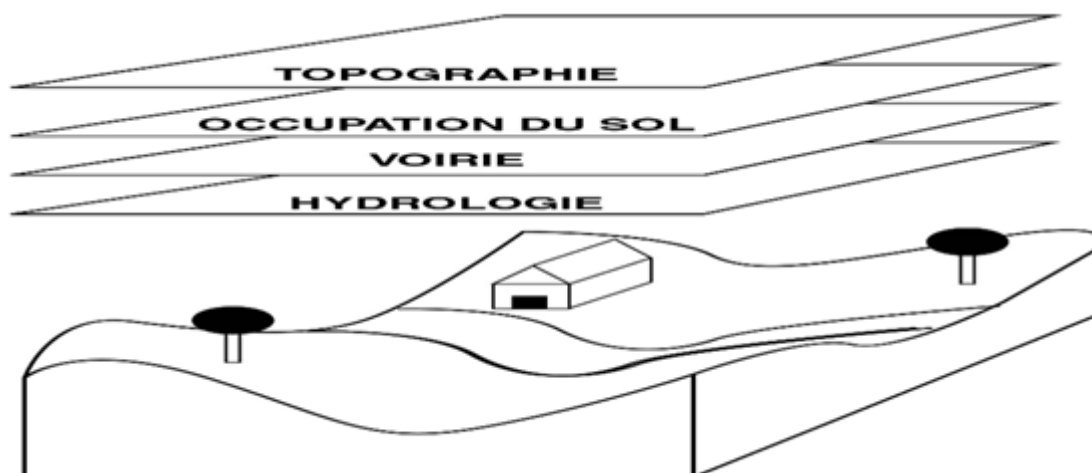


Figure 32: L'organisation en couches

V.3- Les différents logiciels SIG

- ✖ Arc info ;
- ✖ System 9 ;
- ✖ Géoconcept ;
- ✖ Small world ;
- ✖ Mapinfo ;
- ✖ Arcview ;
- ✖ ArcGIS ;
- ✖ Idrisi ;
- ✖ Etc.

Pour la réalisation de ce travail, nous avons choisi le logiciel ArcGis 9.2 puisque c'est un logiciel traitant les SIG bureautique, avec des fonctions d'analyses spatiales puissantes.

ArcGis est un logiciel SIG de la firme ESRI qui permet de gérer l'ensemble des données. Cependant, il est très vite limité dans la gestion (stockage), l'exploitation et la mise à jour des données tabulaires. L'ArcGis propose une forme de stockage des données appelée Géodatabase personnelle. La Géodatabase est au cœur du modèle d'information, géographique qui organise les données SIG en couche thématiques et en représentations spatiales. Elle est constituée d'une série de logiques applicatives et d'outils permettant d'accéder aux données SIG et de les gérer.

L'extension ArcGis Spatial Analyst permet aux utilisateurs de SIG bureautique de créer, interroger et analyser toute information s'appuyant sur des fichiers raster. Elle permet également de créer de nouvelles données à partir d'informations existantes, d'interroger des informations au travers de nombreuses couches, de modéliser ces croisements informations et de permettre des traitements combinés entre des données raster et vecteur.

Spatial Analyst offre les outils nécessaires à la modélisation spatiale :

- ✓ Analyse de surface (création de zone tampon à une certaine distance des entités, identification de la localisation à une entité, densité de surface et modélisation de potentiel) ;
- ✓ Analyse de terrain (pente, exposition) ;
- ✓ Superposition de vecteur sur les rasters, utilisation de masque d'analyse, analyse de surface raster sur des polygones vectoriels ;
- ✓ Map Algebra (reclassification, pondération de grille, statistique de cellules à l'intérieur de polygones, statistique de cellules sur plusieurs grilles).

ArcGis Spatial Analyst s'adapte à de nombreuses applications telles que :

- Analyse de localisation ;
- Modèle d'aménagement ;
- Modélisation hydrologique ;
- Analyse d'occupation des sols ;
- Analyse des rendements agricoles.

ArcGis Spatial Analyst permet de convertir en données raster toute donnée ponctuelle, linéaire, polygonale telle que les couvertures ArcInfo, les fichiers de formes, les fichiers CAD, les géodatabases et les couches ArcGis créées à partir de tables ou de fichiers de couverture.

Les formats TIFF, JPEG, BMP, SunRSTER, USGS DEM, DTM, NIMADTED, ASCII, MrSID, ainsi que bien d'autres peuvent être importées et gérées dans spatial analyst.

VI-SYSTEME DE COORDONNEES DANS LES SIG

VI.1- Définition

C'est un ensemble de paramètres permettant de situer ou localiser un objet sur la surface terrestre. Il est lié à un repère ou référentiel. Ainsi, il est matérialisé par des réseaux de points dont on connaît avec une grande précision les réseaux géodésiques ou les coordonnées.

VI.2- Le référentiel malagasy

La cartographie de Madagascar utilise une projection unique au monde : c'est la projection Laborde. Elle n'est supportée par aucun récepteur GPS et par bien peu de logiciel. Mais les reports sur la carte sont fastidieux avec de nombreux calculs à réaliser. Il serait plus pratique d'utiliser les coordonnées Laborde qui sont orthonormées.

VI.3- Projection Laborde Madagascar

La projection Laborde est l'utilisation de la méthode de double projection. C'est le passage par une sphère intermédiaire, et aussi une succession de trois transformations :

- ✓ Transformations conforme de l'ellipsoïde sur la sphère de la courbure moyenne.
- ✓ Transformations de Mercator transverse.
- ✓ Transformations conforme de type polynomial.

Les caractéristiques

Elle comporte les différentes caractéristiques suivantes :

- Le demi grand axe

$$a = 6\,378\,388 \text{ m (mètre)}$$

- L'excentricité

$$e^2 = 0,006\,722\,670\,0223$$

- La latitude du point origine :

$$\lambda = 21 \text{ gr Sud} = -21 \text{ gr (grad)}$$

La longitude du point origine :

$$\varphi = 49 \text{ gr Est Paris}$$

- Le coefficient de réduction d'échelle :

$$\text{Facteur d'échelle : } 0,9995$$

- Les coordonnées de l'origine :

$$X = 400\,000 \text{ m (mètre)}$$

$$Y = 800\,000 \text{ m (mètre)}$$

C'est une projection très proche de celle du Mercator oblique. En cartographie, on peut substituer la projection Laborde à celle du Mercator oblique.

L'introduction de ces paramètres dans les logiciels SIG habituels nécessite un calcul préliminaire pour que les valeurs soient appropriées.

CHAPITRE.2: LES DONNEES DE BASE

I- LE MNT

I.1- Définitions

Un modèle numérique de terrain (MNT) est une représentation numérique simplifiée de la surface d'un territoire, en coordonnées altimétriques (le plus souvent exprimées en mètres par rapport au niveau de la mer) et planimétrique, calées dans un repère géographique.

Très utilisés en CAO et en synthèse d'image, ils apportent également beaucoup de possibilités pour la réalisation d'analyses paysagères, ou la compréhension de certains risques naturels. Intégrée dans un système d'information géographique, cette information joue alors un rôle important, à l'instar des courbes de niveau et estompage (ombrages) dans une carte traditionnelle, avec cependant des possibilités d'exploitation bien supérieures, notamment en terme d'analyse spatiale.

Les MNT sont aujourd'hui utilisés dans de nombreux systèmes d'information géographique et un intérêt grandissant leur est porté par les utilisateurs - tendance qui va certainement se confirmer dans les prochaines années.

I.2- Types de MNT

- ✕ GDEM ;
- ✕ GTOPO 30 : 1,90m de résolution ;
- ✕ MNT obtenu par la courbe de niveau.

I.3- Modes de présentation

Il existe, parmi une grande variété de représentations possibles d'une surface 3D, deux modes largement utilisés pour les MNT qui s'apparentent aux deux modes de représentation de l'information géographique plane : le vecteur (polygones) ou le raster (pixel). Dans le cas particulier du relief, les polygones utilisés sont des triangles (le polygone le plus simple pour représenter un élément de surface orienté dans l'espace).

a. Mode raster

Un MNT sous forme raster est aussi appelé matrice d'altitudes. Il s'agit d'un ensemble de valeurs numériques représentant des altitudes, régulièrement espacées et ordonnées selon un balayage du terrain (par exemple d'ouest en est et du nord au sud). Cette notion de balayage régulier explique l'emploi du terme raster. Chaque altitude ainsi positionnée correspond à ce qui doit être alors considéré comme une altitude moyenne d'un élément de surface du terrain. Cette distribution régulière de points définit alors un maillage de la surface du terrain, les dimensions de la maille (de fait, rectangulaire ou carrée) définissant ce qu'on appelle la résolution spatiale planimétrique du MNT.

Exemple Grille raster (résolution variable)

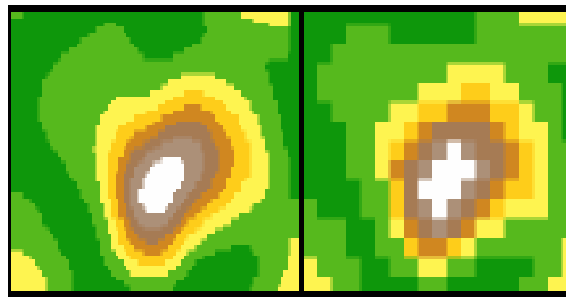


Figure 33: Grille raster

Chaque point est au centre d'une maille. Plus l'espacement des points est réduit, plus la résolution est grande, plus le MNT est fin et riche en détails topographiques.

6	9	9	11	12	12	12	12	9	6
9	15	16	18	21	21	19	20	15	8
10	18	22	25	26	26	25	25	20	11
11	19	27	29	30	31	29	28	23	14
11	20	28	33	35	34	34	31	25	13
12	22	29	34	37	37	35	32	24	13
12	22	29	33	35	36	34	29	24	14
9	17	25	29	34	34	32	28	23	13
7	13	18	22	27	27	26	23	18	11
5	8	10	14	15	16	14	12	11	6

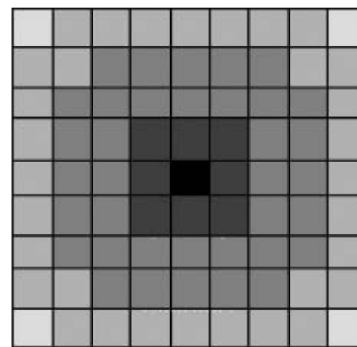


Figure 34: Mailles

Pour fixer les idées, un MNT de faible résolution a une maille de l'ordre de 100 m de côté, voire plusieurs kilomètres. Un MNT fin a une maille de l'ordre de quelques mètres à quelques décimètres.

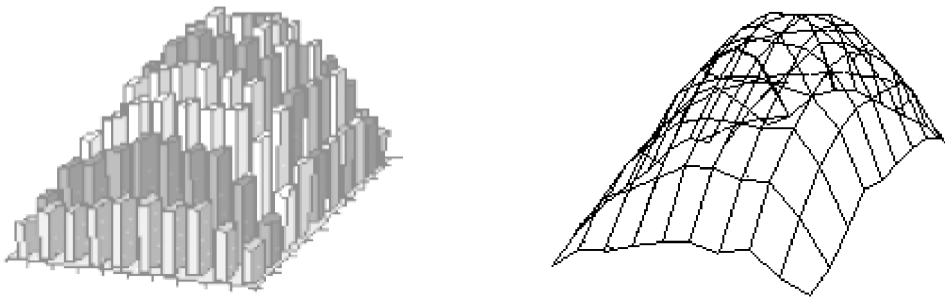


Figure 35 : représentation graphique d'un MNT raster

Un MNT raster peut être représenté graphiquement selon plusieurs méthodes :

- sous forme d'image numérique (les teintes variant en fonction de l'altitude des points du MNT)
- sous forme de bloc diagramme ("raster en perspective")
- sous forme de maillage "fil de fer": chaque point est relié à ses quatre plus proches voisins.

b. Mode vecteur

La seule alternative au mode raster est d'utiliser un pavage de la surface du terrain à l'aide de triangles. On parle simplement de triangulation. Cette méthode est utilisée pour des MNT, depuis les années 70, c'est à dire dès l'arrivée des premiers systèmes d'information géographique vectoriels. De tels MNT ont pour caractéristique principale de s'appuyer sur un semis de points de mesure le plus souvent disposés de façon irrégulière et dont la densité peut augmenter en fonction de la complexité du relief et de la précision recherchée.

Chaque point est relié à deux voisins pour former un réseau de triangles. Ce réseau ne doit laisser apparaître aucun "trou" et est tel qu'aucun des triangles n'en superpose un autre. On parle alors de TIN de l'anglais Trianguler Irrégulier Network.

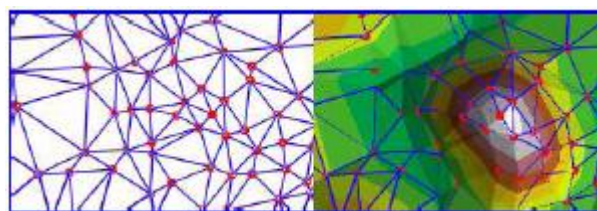


Figure 36 : Exemple Modèle TIN vecteur

Un modèle de données TIN est composé de nœuds, d'arêtes, de triangles.

Les nœuds peuvent être placés de façon irrégulière sur une surface. La densité de points peut varier en fonction de la complexité de la surface.

Les nœuds du TIN peuvent correspondre à d'autres entités présentes sur la surface réelle (sommets de montagnes, des routes et des ruisseaux)

Les TIN sont généralement utilisés pour la modélisation de haute précision de zones plus restreintes (applications d'ingénierie, calcul de planimétrie, superficiels, volumes)

c. Caractéristiques

La précision d'un MNT est impossible à formaliser. Elle ne peut être évaluée que globalement, en fonction du processus utilisé pour fabriquer le MNT. Selon la méthode, des paramètres jouent de façon importante sur cette précision globale, en particulier :

- ✱ l'échelle des courbes de niveau utilisées, ainsi que leur équidistance ;
- ✱ l'échelle ou la résolution des images utilisées ;
- ✱ la densité des points effectivement mesurés sur le terrain et la précision des levés ;
- ✱ la répartition de ces points en fonction du caractère plus ou moins accidenté du terrain (notamment pour les TIN).

Ces facteurs, et les méthodes de production employées interdisent à l'utilisateur de considérer les altitudes comme "vraies" : il ne s'agit que d'un modèle de la réalité. On pourra facilement s'en convaincre en superposant un réseau hydrographique à un MNT du même secteur.

Par endroit, il semble que les cours d'eau traversent des "cuvettes" ou passent des "dos-d'âne" ou ne coulent pas au fond des talwegs ! Il ne s'agit là que d'imperfections très locales, qui ne remettent pas en cause l'intérêt plus global de disposer d'une telle source d'information altimétrique, mais qui peuvent conduire à des erreurs parfois importantes en termes d'analyse spatiale (calcul de bassins versants, etc.)

Les TIN peuvent s'avérer plus précis que les modèles raster dans la mesure où on peut densifier les prises d'altitude en fonction du relief.

d. Perspectives

Les techniques de production ont beaucoup évolué avec l'arrivée de l'imagerie satellite, et cette évolution se poursuit avec l'utilisation du GPS. De même le lancement de satellites ayant des résolutions de plus en plus fines et des capacités stéréoscopiques améliorées va confirmer ces progrès. Parallèlement, l'imagerie radar et l'interférométrie radar vont sans aucun doute améliorer encore les capacités de production de MNT de grande précision sur des territoires étendus.

La diversification de l'offre devrait contribuer encore à un usage plus répandu de cette donnée géographique de base.

I.4- Model GDEM

Un modèle numérique de terrain global (GDEM) ou encore Global Digital Elevation Model a été mis à disposition des utilisateurs le 29 juin 2009 par le Ministère de l'Economie, du Commerce et de l'industrie (METI) du Japon et l'Administration Nationale de l'Aéronautique et de l'Espace des Etats Unis (NASA).

Ce GDEM a été réalisé à partir de données du satellite ASTER. Il est à ce jour le GDEM le plus complet avec une couverture de 90% des surfaces terrestres.

Le satellite ASTER a été lancé en décembre 1999. Il fournit des images optiques à haute résolution spatiale:

- ✕ 15m pour les trois canaux Visible et Proche Infrarouge ;
- ✕ 30m pour les six canaux Moyen Infrarouge ;
- ✕ 80m pour les cinq canaux Infrarouge Thermique.

De plus, il acquiert des images Proche Infrarouge avec une direction de visée arrière.

a. Création de GDEM

Le GDEM a été créé à partir de 1,5 millions de scènes de 60 × 60 km. Les zones masquées par les nuages ont été éliminées ainsi que les valeurs jugées aberrantes. L'ensemble de ces traitements a duré plus d'un an.

La méthode utilisée pour produire de l'ASTER GDEM implique le traitement automatisé des ensembles de 1,5 millions scènes d'archives d'ASTER, y compris les corrélations stéréos de produire 1.264.118.

b. Caractéristique de GDEM ASTER

Le GDEM ASTER couvre des surfaces terrestres comprises entre 83°N et 83°S. Il comprend 22600 tuiles de 1° × 1°. Les tuiles avec moins de 0,01% de surface terrestre sont éliminées.

Le GDEM est géoréférencé dans le système latitude/longitude sur un géoïde WGS84/EGM96.

La précision altitudinale est estimée à 20 m pour un intervalle de confiance de 95% (pour les données verticales).

La précision de positionnement est de 30 m pour un intervalle de confiance de 95% (pour les données horizontale).

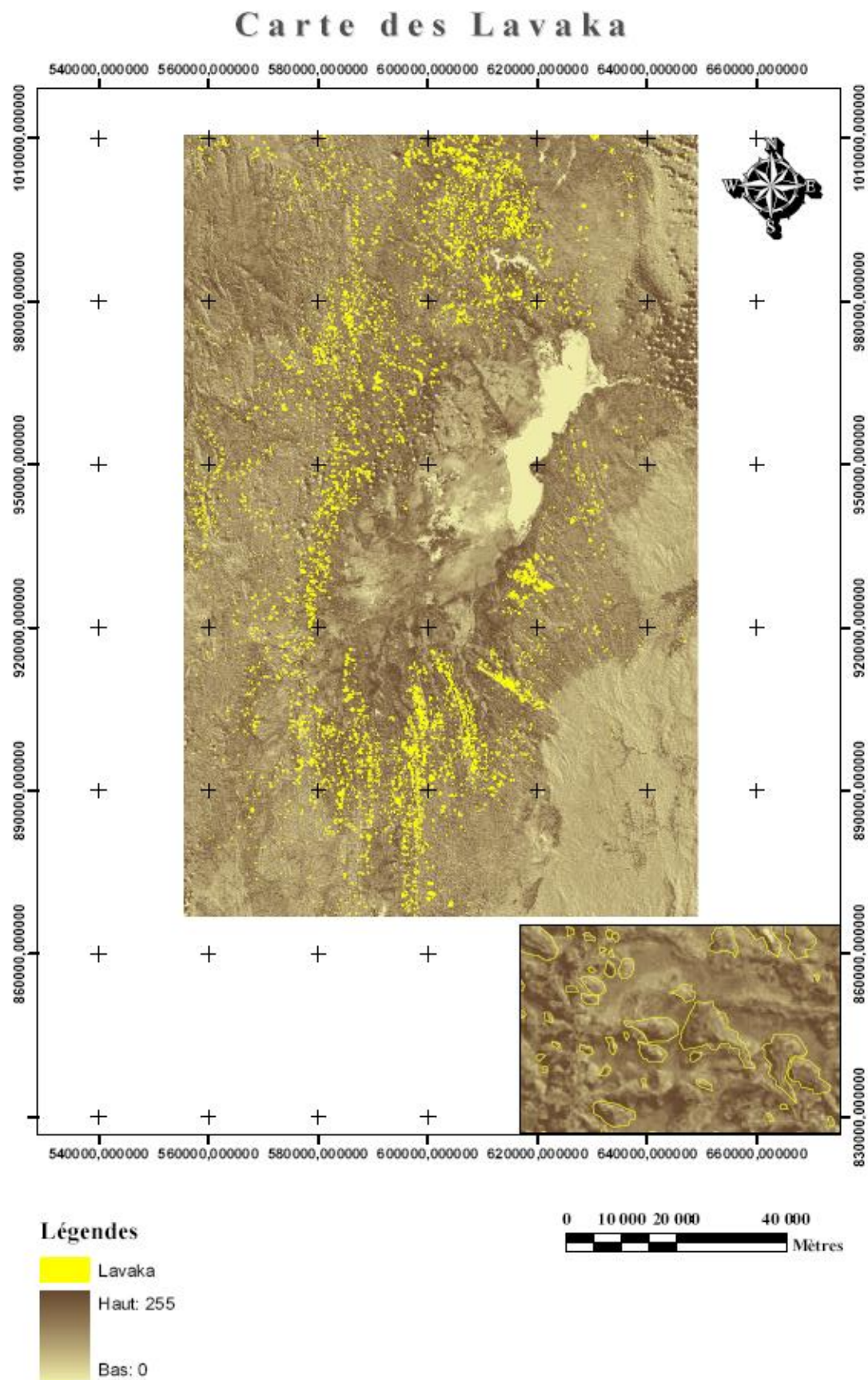
Le GDEM ASTER est au format Geotiff avec latitude/longitude de coordonnées géographique et de 1 seconde d'arc (30m) de la grille.

Pour chaque tuile 1° × 1°, deux fichiers sont fournis :

- ✖ Le fichier de données DEM,
- ✖ Une qualité d'évaluation du fichier, qui est un fichier qui indique le nombre de DEM basés sur les scènes contribuant à la valeur finale de DEM à chaque pixel ou l'emplacement des anomalies dans les données qui ont été corrigées et la source de données utilisée pour la correction.

II- LA CARTE DES LAVAKA

Elle est issue de la photo-interpretation des scènes Landsat de l'année 1993 et 2000. Les contours représentent la limite des terres déplacées et matérialisées par les talus.



Carte 2 : carte des lavaka

CHAPITRE.3: LES BASE DE DONNEES DANS UN SIG

L'information géographique contenue dans les bases de données géographiques doit être organisée de manière cohérente. Les données sont distribuées en couches ou couvertures thématiques. Si la base couvre une surface importante, elle est découpée en sous ensembles géographiques appelés **dalles** ou **tuiles**.

I- DEFINITION D'UNE BD

Une base de données est une collection de données non-redondantes représentant les besoins d'un ensemble d'utilisateurs.

Une base de données de Système d'Information Géographique est un ensemble structuré de données graphiques et non-graphiques permettant de décrire un plan d'information, de définir des relations spatiales et des caractéristiques d'un site donné.

La construction de la base de données dans un SIG est l'étape la plus onéreuse, la plus longue et celle qui pose le plus de problèmes d'intégration au sein du SIG.

Les anglo-saxons distinguent le terme de data base en deux mots qui désigne l'ensemble de données numériques, structurées qui peuvent être développées, mises à jour et extraites pour des applications variées. Le terme data base en un seul mot correspond à un ensemble de données structurées au sein d'un logiciel de gestion des de gestion des systèmes de bases de données.

II- UTILITE D'UNE BD

Elle permet de mettre des données à la disposition d'utilisateurs pour une consultation, une saisie ou bien une mise à jour, tout en s'assurant des droits accordés à ces derniers. Cela est d'autant plus utile que les données informatiques sont de plus en plus nombreuses.

Une base de données peut être locale, c'est-à-dire utilisable sur une machine par un utilisateur, ou bien répartie, c'est-à-dire que les informations sont stockées sur des machines distantes et accessibles par réseau.

L'avantage majeur de l'utilisation de bases de données est la possibilité de pouvoir être accédées par plusieurs utilisateurs simultanément.

III- LA GEODATABASE OU BASE DE DONNEES GEOGRAPHIQUES

III.1- Définition

La geodatabase est un modèle générique qui veut dire base de données géographique. Elle définit tous les types de données qui peuvent être utilisés dans ArcGis , ainsi que la façon dont on peut stocker, gérer et traiter ces données de même qu'y accéder.

III.2- Les trois types de geodatabase d'ESRI

a. La geodatabase fichier :

La geodatabase fichier stocke les ensembles de données dans un dossier Windows. Cette base de données peut-être cryptée et sécurisée. C'est la geodatabase la plus souple d'emploi.

b. La geodatabase personnelle :

La geodatabase personnelle stocke les données dans une base de données Access (.MDB.). Elle ne peut être utilisée que dans l'environnement Microsoft Windows.

c. La geodatabase ARCSDE :

La geodatabase ARCSDE stocke les données dans des bases de données externes et beaucoup plus lourdes à gérer mais aussi plus performantes comme Oracle, DB2, SQL Server, etc.

III.3- Caractéristiques

Les geodatabases peuvent contenir des classes d'entités (Feature class), des jeux de classes d'entités (Feature dataset), des classes d'objets (object class) aussi appelées tables ainsi que des fichiers Raster.

III.4- Classe d'entités :

Une classe d'entités est un ensemble homogène d'entités. Toutes les entités ont la même géométrie (point, polyligne, polygone,...) et les mêmes attributs. Ces attributs sont stockés dans la table de la classe d'entités. La notion de classe d'entités est similaire à la notion de fichier de formes (Shapefile).

III.5- Jeu de classes d'entités :

Un jeu de classes d'entités est un ensemble de classes d'entités. Il regroupe des classes d'entités ayant des relations topologiques. Un jeu de classes d'entités peut aussi être utilisé pour regrouper des classes d'entités appartenant à un même jeu de classes d'entités sont stockées avec la même référence spatiale (datum, projection, domaines,...). La notion de jeu de classes d'entités est similaire à la notion de couverture.

III.6- Table :

Une table peut-être stockée dans une geodatabase. Elle se caractérise par un ensemble de champs et d'enregistrements. Les tables d'une geodatabase peuvent être reliées ou jointes à des tables ou à des classes d'entités de la même geodatabase.

III.7- Les fichiers Raster

Les fichiers Raster peuvent être stockés dans une geodatabase. Ils peuvent être mosaïqués en un seul jeu de Raster ou gérés comme un ensemble de fichiers différents dans un catalogue d'images.

Les relations, les domaines, les sous-types, les réseaux géométriques, les métadonnées et les références spatiales des couches sont aussi stockées dans la geodatabase.

IV-SYSTEME DE GESTION DE BASES DE DONNEES (SGBD)

Un Système de Gestion de Bases de Données est un logiciel de haut niveau qui permet de manipuler les informations stockées dans une base de données.

La complexité d'un SGBD est essentiellement issue de la diversité technique mise en œuvre, de la multiplicité des composants intervenant dans son architecture, et des différents types d'utilisateurs qui sont confrontés, à différents niveaux, au système.

Un SGBD est destiné à gérer un gros volume d'informations, persistantes et fiables, partageables entre plusieurs utilisateurs et/ ou programmes et manipulées indépendamment de leur représentation physique.

L'utilisation d'un SGBD suppose de comprendre les fonctionnalités suivantes :

- ✕ Définition du schéma de données en utilisant les modèles de données du SGBD
- ✕ Opérations sur les données : recherche, mises à jour, etc.
- ✕ Partager les données entre plusieurs utilisateurs.
- ✕ Optimiser les performances, par le réglage de l'organisation physique de données.

CHAPITRE.4: LA STATISTIQUE DES LAVAKA

I- OBJECTIF

La statistique des lavaka sera établie à partir d'une base de données dans un SIG. La série statistique permettra connaître les relations qui existent entre les diverses caractéristiques morphologiques et topographiques des lavaka. La base de données sera issue d'un modèle numérique de terrain.

II- DEFINITION

La statistique est une méthode scientifique qui consiste à réunir des données chiffrées sur des ensembles nombreux, à analyser, à commenter et à critiquer ces données.

Toute étude de statistique s'appuie sur des données.

Le but des statistiques est d'analyser les données dont on dispose :

- * On peut s'aider un graphique par exemple l'histogramme et le diagramme ;
- * On peut aussi chercher à déterminer la moyenne de la série.

De tels nombres permettent notamment de comparer plusieurs séries entre elles. On les appelle indicateurs statistiques ou paramètres statistiques. On distingue les indicateurs de positions tels que : écart-type, étendue et les indicateurs de dispersion tels que : moyenne, mode.

III- ECART-TYPE

L'écart-type est une mesure de dispersion des valeurs autour de leur moyenne arithmétique. Par définition, l'écart-type est la moyenne quadratique des écarts à la moyenne \bar{x} . Le carré de l'écart-type est appelé la variance. La variance est par conséquent la moyenne arithmétique des carrés des écarts à la moyenne.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Emmanuel Grenier, 2007})$$

De façons générales l'écart-type est de servir à créer un intervalle de confiance c'est-à-dire combien de valeurs de la série sont comprises dans un intervalle défini par : $[\bar{x} - S ; \bar{x} + S]$.

Et les nombres d'unités statistiques dont la valeur est compris dans cet intervalle.

- Si l'écart-type est faible, cela signifie que les valeurs sont assez concentrées autour de la moyenne.
- Si l'écart-type est élevé, cela veut dire au contraire que les valeurs sont plus dispersées autour de la moyenne.

IV- LES CARACTERES STATISTIQUES :

En statistique, il y a deux types de caractère : Les caractères qualitatifs et les caractères quantitatifs.

IV.1- Les caractères qualitatifs :

Les caractères qualitatifs mesurés dans une échelle nominale, les modalités sont exprimables par des noms et ne sont pas hiérarchisées. Un caractère nominal peut être dichotomique s'il ne peut prendre que de modalité.

IV.2- Les caractères quantitatifs :

Le caractère est discret s'il peut prendre seulement certaines valeurs dans un intervalle donné. En général, il résulte d'un compactage ou de nombreux.

V- REPRESENTATION DES DONNEES :

Il existe plusieurs niveaux de description statistique :

- La représentation brute des données, des présentations par tableaux numériques, des représentations graphiques et des résumés numériques fournis par un petit nombre de paramètres caractéristiques ;
- Les représentations graphiques ont l'avantage de renseigner immédiatement sur l'allure général de la distribution. Elles facilitent l'interprétation des données recueillies.

VI-DROITE DE REGRESSION

VI.1- Méthode et définition :

Dans les sciences beaucoup de lois sont décrites par des fonctions affines ou linéaires. Pour un ensemble de points de mesures données, le problème consiste à trouver l'équation de la « meilleure droite », c'est-à-dire, la droite qui passe exactement par tous les points de mesure (ce qui est rarement le cas) ou le plus près possible des différents points.

On fait la somme S des carrés des écart-verticaux entre chaque point de mesure et la droite. Cette somme qui dépend des paramètres a et b de la droite (a est la pente et b est ordonnée à l'origine) doit être aussi petite que possible, c'est-à-dire il faut annuler les dérivées de S par rapport à chacun des paramètres a et b .

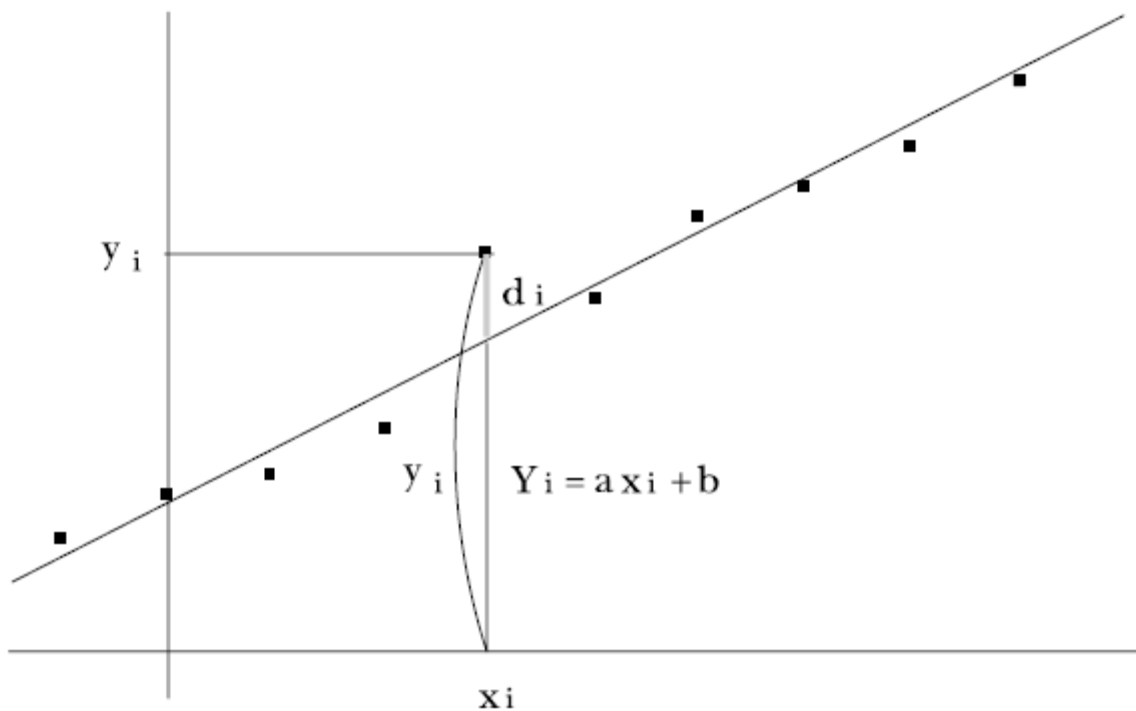


Figure 37: Droite de régression

VI.2- Calcul

L'équation de la droite de régression est $y = ax + b$ où a et b sont des paramètres inconnus à déterminer.

Somme des carrés des écarts verticaux : $S = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_i (Y_i - y_i)^2 = \sum_i (ax_i + b - y_i)^2$

$$\begin{cases} \frac{\delta S}{\delta a} = 0 \\ \frac{\delta S}{\delta b} = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \sum_i 2(ax_i + b - y_i)x_i = 0 \\ \sum_i 2(ax_i + b - y_i) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2 \sum_i (ax_i^2 + bx_i - y_i x_i) = 0 & (:2) \\ 2 \sum_i (ax_i + b - y_i) = 0 & (:2) \end{cases} \quad \text{inconnu } a \text{ et } b \text{ or } \sum b = b + \dots + b = nb$$

$$\begin{cases} a \sum x_i^2 + b \sum x_i = \sum x_i y_i \rightarrow \sum x_i = n\bar{x} \\ a \sum x_i + bn = \sum y_i \rightarrow \sum y_i = n\bar{y} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum x_i^2 + b.n\bar{x} = \sum x_i y_i & (\text{avec } \bar{x}, \bar{y} \text{ moyenne des } x_i, y_i) \\ a.n\bar{x} + bn = n\bar{y} & (:2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum x_i^2 + b.n\bar{x} = \sum x_i y_i & (\text{équation 1}) \\ a\bar{x} + b = \bar{y} & (\text{équation 2}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} a = \frac{\begin{vmatrix} \sum x_i y_i & n\bar{x} \\ \bar{y} & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum x_i^2 & n\bar{x} \\ \bar{x} & 1 \end{vmatrix}} = \frac{\sum x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x_i^2 - n(\bar{x})^2} \\ b = \bar{y} - a\bar{x} & (\text{équation 2}) \end{cases}$$

VI.3- Equation de la droite de régression

$$y = ax + b \quad \text{avec } a = \frac{\sum x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x_i^2 - n(\bar{x})^2} \rightarrow \bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (\text{moyenne des } x_i)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \rightarrow \bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i \quad (\text{moyenne des } y_i)$$

Remarque : $\bar{y} = a\bar{x} + b$ signifie que la droite de régression passe par le point (\bar{x}, \bar{y}) .

VI.4- Corrélation

Si la droite de régression décrit bien le lien entre les variables et sinon existe-t-il un lien d'une autre forme pour les variables.

Lorsque la droite de régression représente bien la relation entre les deux variables, on dit qu'il existe une corrélation linéaire. Puisque nous étudierons seulement des modèles linéaires, on

dira seulement corrélation.

Dans le premier cas, les points sont près de la droite. On dit alors qu'il y a une bonne corrélation entre les variables. En d'autres mots, la droite de régression décrit bien la relation entre les variables.

Dans le deuxième cas, les points ne sont pas très près de la droite. On ne peut pas affirmer qu'il y a une relation linéaire entre les deux variables.

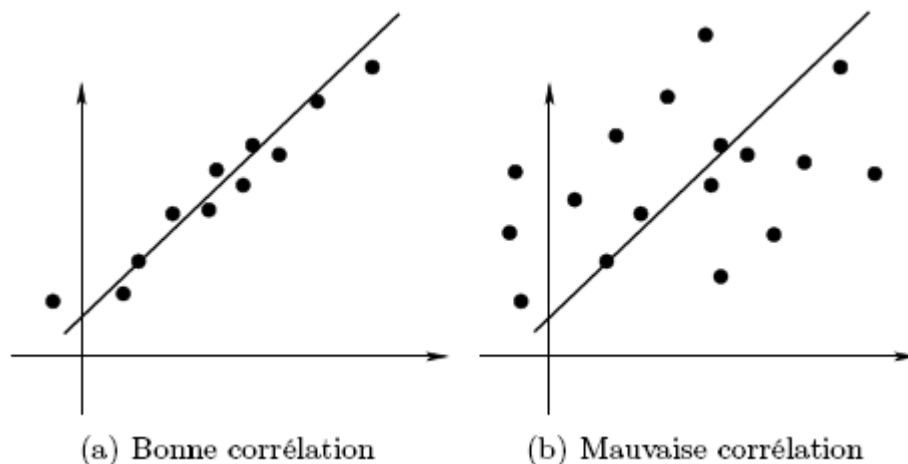


Figure 38: Nuage de points avec la droite de régression

Il existe un outil quantitatif qui permet de bien trancher si le modèle est acceptable ou non, c'est-à-dire si la relation linéaire décrit bien le phénomène. Cet outil est le coefficient de corrélation que l'on note r . Le coefficient de corrélation sert avant tout à caractériser une relation linéaire positive ou négative. Il varie entre -1 et 1. Plus il est proche de 1 (en valeur absolue), plus la corrélation est grande donc le modèle linéaire décrit bien la réalité. Par contre, si $|r|$ est près de 0 le modèle est loin d'être linéaire. Il est à noter que le signe de r est le même que celui de b , c'est-à-dire que si la pente de la droite régression est négative, r sera négatif et vice-versa. On peut calculer r avec :

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)} \sqrt{(n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}} \quad (\text{job, 2008})$$

Dans le cas de l'exemple de coefficient $r = -0.6403$, ce qui signifie que la corrélation n'est pas très bonne. Habituellement, si $|r| > 0.7$, on dit qu'il existe une corrélation entre les variables, sinon, on dit qu'il n'y a pas de corrélation.

VII- Analyse en Composantes Principales (l'ACP)

L'Analyse en Composantes Principales, appelé aussi Analyse Géométrique des données ou Analyse de corrélation, permet d'analyser des données multivariées et de les visualiser sous forme de nuages de points dans des espaces géométriques. Par opposition aux analyses confirmatoires (par exemple analyse de variance), qui visent à tester des hypothèses fondées sur un raisonnement théorique, l'ACP est dite exploratoire, et permet de découvrir des relations entre variable sans avoir d'hypothèses préalable. L'intérêt majeur de l'ACP est d'offrir la meilleure visualisation possible des données multivariées, en identifiant le ou les plans dans lesquels la dispersion est maximale ; mettant ainsi en évidence avec le maximum de précision les relations de proximité et d'éloignement entre les variables. Les composantes principales désignent les axes orthogonaux qui structurent les données et qui rendent compte de cette variance maximale.

L'objectif de l'ACP est de représenter sous forme graphique l'essentiel de l'information contenue dans un tableau de données quantitatives

Le rôle de l'ACP est de trouver des espaces de dimensions plus petites minimisant ces déformations. On utilise un espace à deux dimensions. Ce plan est appelé le plan principal. Il est constitué de deux droites perpendiculaires.

La méthode consiste à calculer la première droite appelée D1 de façon à maximiser les carrés des distances de projection des points sur la droite. Puis une deuxième droite appelée D2 perpendiculaire.

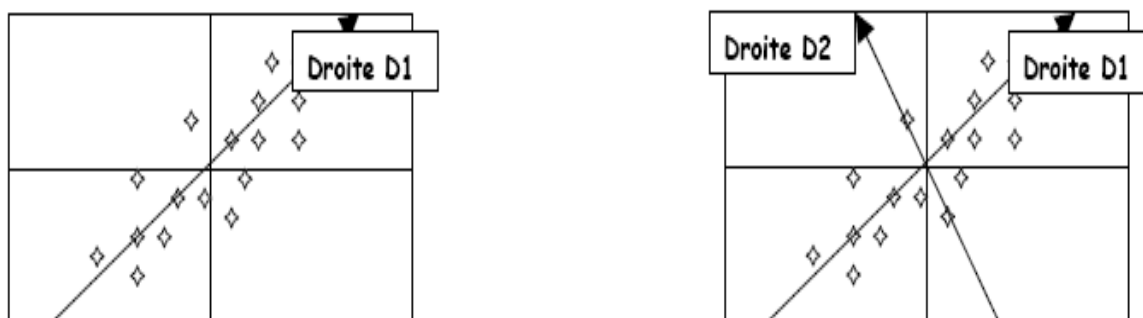


Figure 39: Représentation graphique de l'ACP

Les droites D1 et D2 sont des caractères synthétiques obtenus par des combinaisons linéaires avec les variables d'origine.

Ces droites sont appelées composante principale ou axe principal.

PARTIE 3 : METHODOLOGIES ET RESULTATS

CHAPITRE.1- METHODOLOGIES

Les Modèles Numérique du Terrain permettent une description de la topographie du terrain et constituent une base de données altimétriques à partir de laquelle on peut dériver une multitude de produits : la carte des pentes, la carte des Expositions et calcul de courbure (curvature). On se limite à ces trois variables pour éviter la complication de l'interprétation des résultats.

I- CALCUL DES FICHIER DERIVES DU MNT

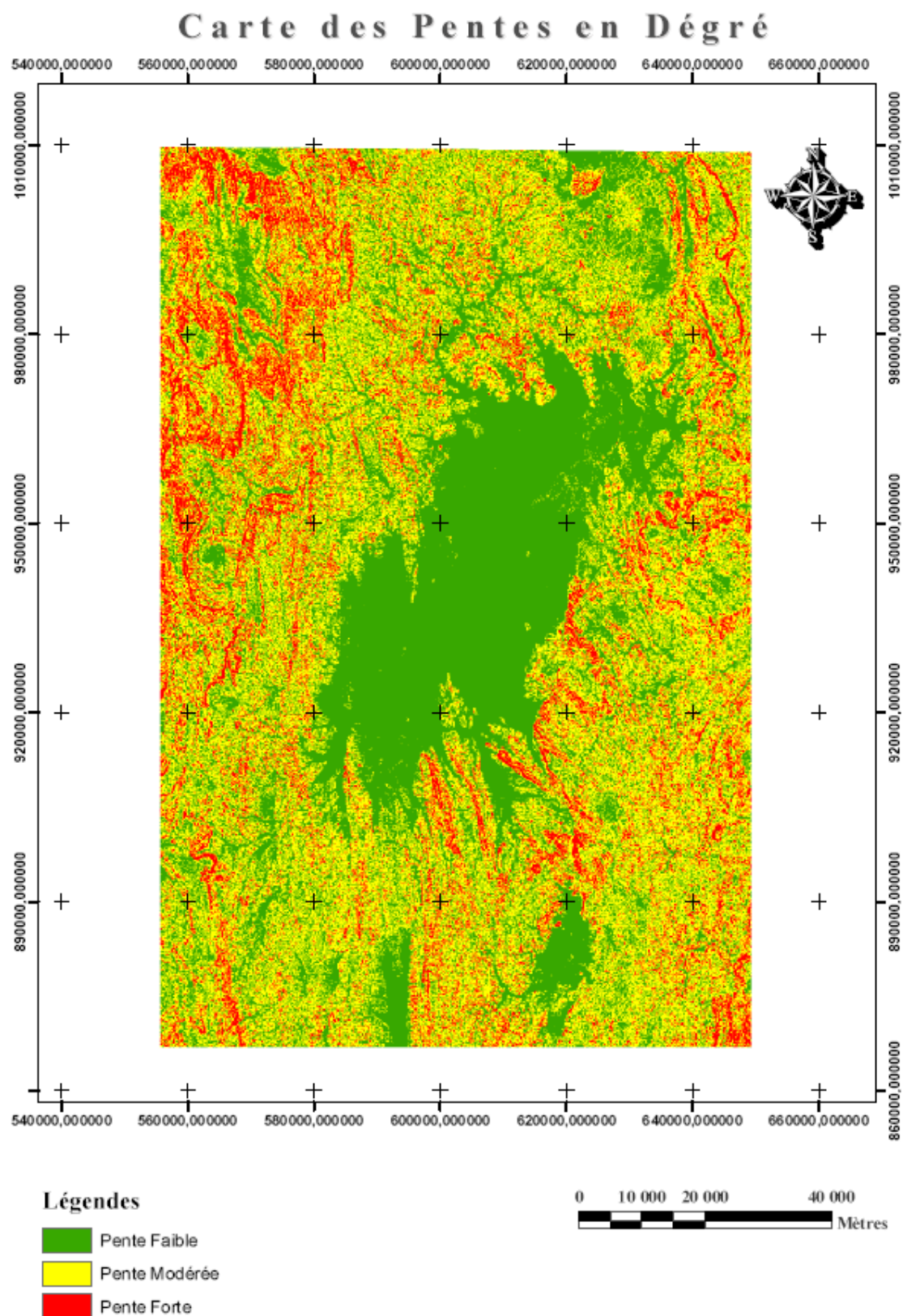
a. Carte des pentes

La pente est l'inclinaison d'une surface exprimée en degrés ou en pourcentage par rapport au plan de l'horizon. L'information de la pente est utilisée pour ajouter des critères de sélections dans les classifications thématiques des Lavaka.

La carte présente les pendages du versant, pixel par pixel. Elle permet de déterminer le sens et la vitesse d'écoulement des eaux de surface.

En hydrologie, la connaissance de la pente d'une zone donnée est souvent nécessaire pour comprendre la dynamique des écoulements. Cette théorie est applicable à l'intérieur des Lavaka. La pente est une des données fondamentales à partir de laquelle le réseau hydrographie sera déterminé. Une carte des pentes de qualité est une grande importance pour pouvoir analyser correctement un bassin versant. Elle indique la pente surfacique en chacun pixels. Cette carte sera différente en fonction de la taille des Lavaka.

Le critère pente va permettre d'estimer le risque de ruissellement sur la zone étudiée. La notion de la pente doit être associée à une échelle donnée. En effet, la perception de la pente est différente si l'on se place au niveau du m², de la parcelle ou diversion. Dans notre étude la pente est à l'intérieur des Lavaka.



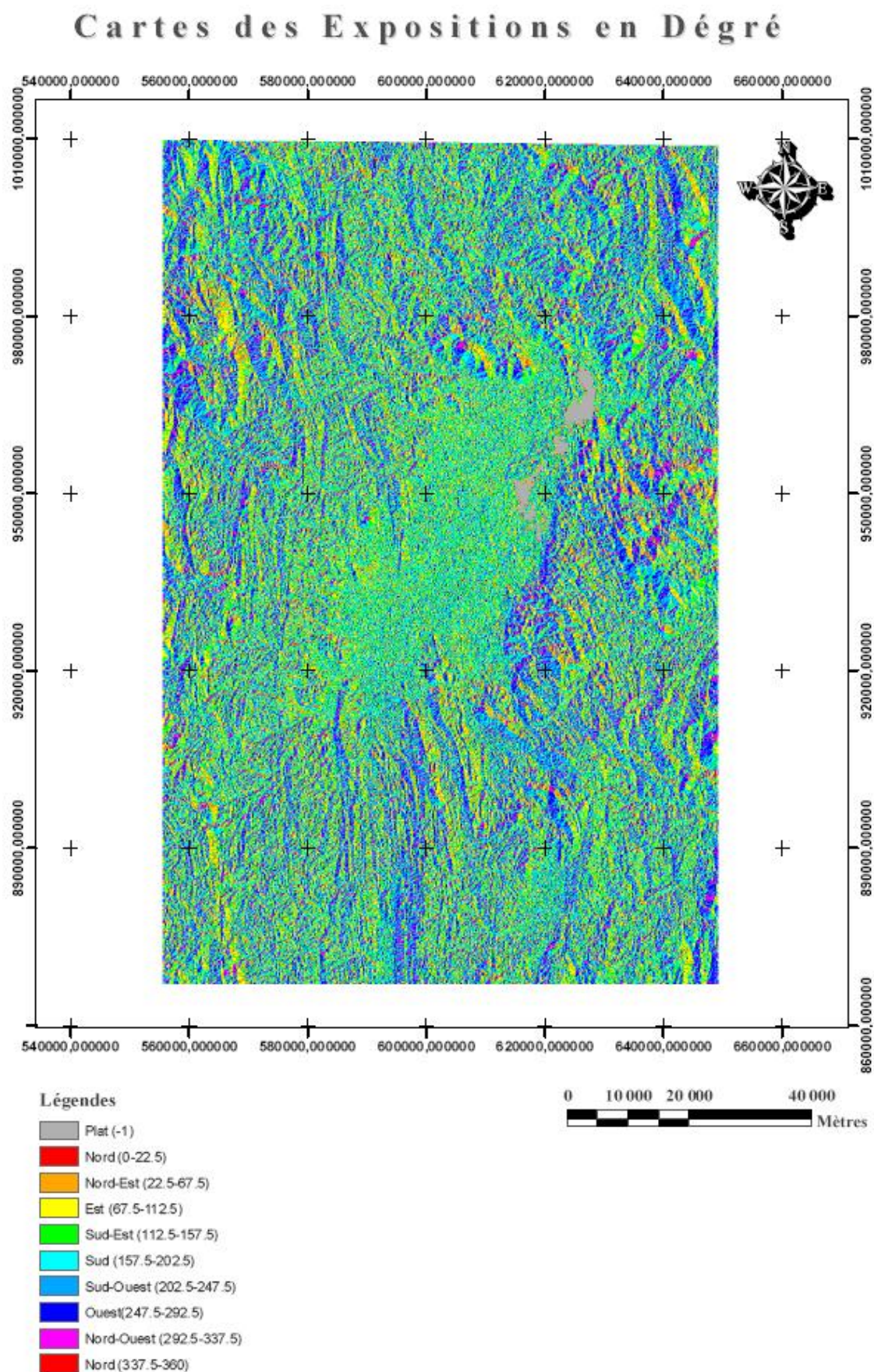
Carte 3 : Carte des pentes

b. Carte des expositions (Aspect en Anglais)

Pour la carte d'exposition, chaque facette du relief est représentée par une couleur correspondant à une orientation. Elle indique la zone qui reçoit les mêmes quantités de pluie et d'insolation.

L'exposition donne l'orientation de la pente principale en chaque cellule. Elle résulte aussi du calcul du gradient comme en carte de pente mais c'est ici la direction et non pas l'intensité de la pente.

Le codage de l'exposition est en degré par rapport au Nord géographique (fixé à zéro) dans le sens des aiguilles d'une montre. Les zones planes sont fixées à -1. Dans cet travail, Aspect représente l'aspect du versant et ce sont des orientations à l'intérieur de lavaka mais pas les pentes. De plus, les mesures y compris à l'intérieur de lavaka (voir mode d'acquisition GDEM).



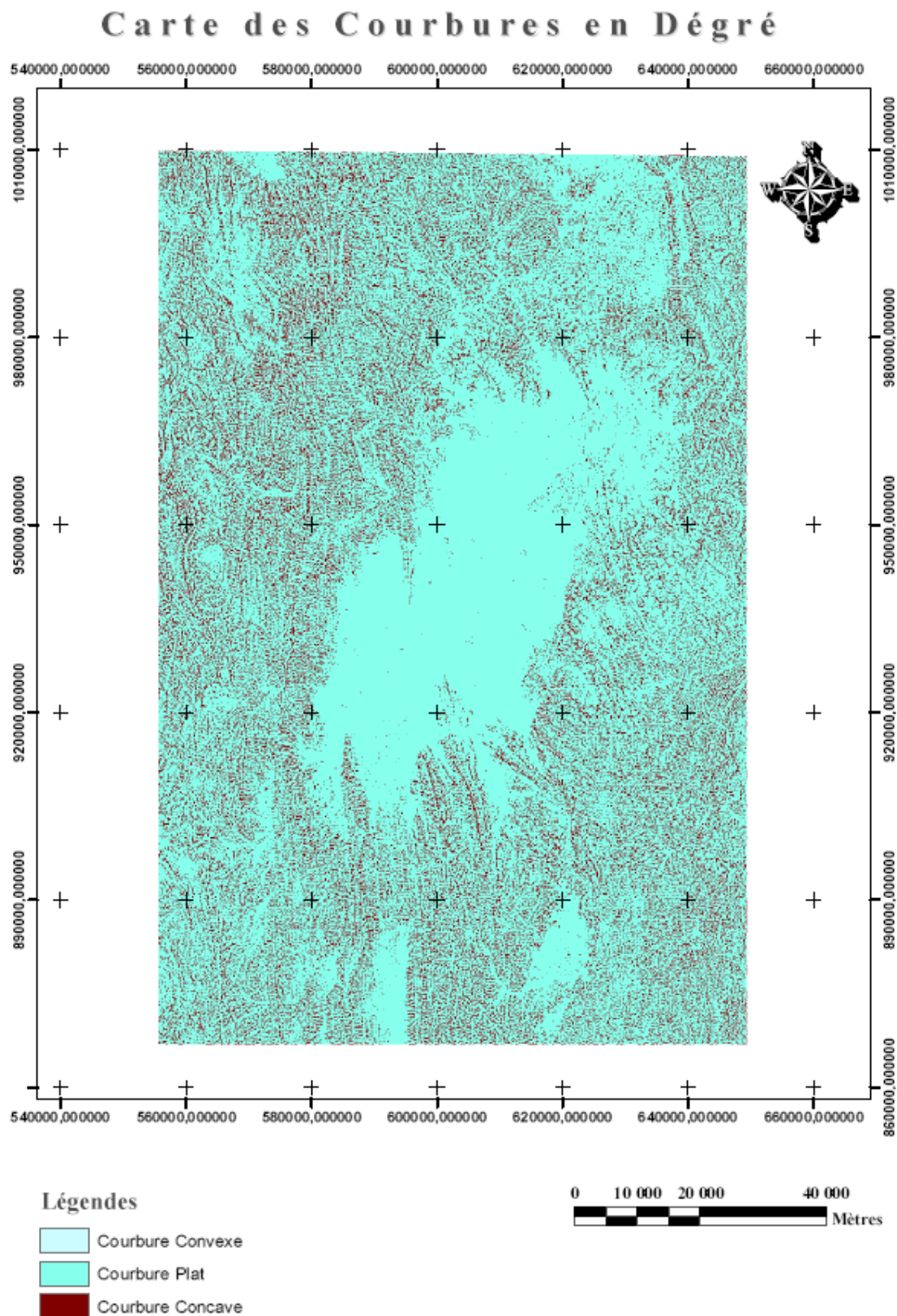
Carte 4 : Carte des expositions

c. Courbure (en Anglais curvature)

La courbure c'est la dérivée seconde de surfaces. Les dérivées secondes nous renseignent sur les courbures du terrain. On différencie les courbures dans le plan horizontal (courbures des courbes de niveau) et les courbures dans le plan vertical (courbures des lignes de plus grande pente).

La courbure verticale (convexité verticale ou « profil curvature») représente la concavité et la convexité de la pente dans le sens de la plus grande pente. Une pente à courbure convexe (courbure négative) est caractéristique d'une accélération du flux alors qu'une décélération s'observe dans une pente à courbure concave (courbure positive).

La courbure horizontale (convexité horizontale ou « plain curvature») donne les caractéristiques de convergence ou divergence des flux dans la direction parallèle aux lignes de niveaux. Une courbure horizontale convexe (courbure négative) est caractéristique d'une dispersion du flux tandis qu'une courbure horizontale concave concentre le flux. La valeur zéro indique la surface plat.



Carte 5 : Carte des courbures

II- CREATION STATISTIQUE DE LAVAKA

La statistique de lavaka réunie les variables suivants : la superficie, la profondeur, et la pente de lavaka. A partir d'un outil comme logiciel ArcGis que nous pouvons créer cette statistique. De plus, ces variables nous permettent d'analyser et d'améliorer à l'étude de ce phénomène. D'autre part, les variables jouent un grand rôle important pour l'étude statistique de Lavaka.

Réactualisation BD de Laraka à partir de MNT GDEM 30m de résolution et identification des zones favorables à l'implantation d'un point d'observation

ID	Surface (m²)	Profondeur (m)	Pente min (deg)	Pente max (deg)	Pente moy (deg)	Aspect min (deg)	Aspect max (deg)	Aspect moy (deg)	Aspect écart-type	Courbure min (deg)	Courbure max (deg)	Profondeur Courbure(m)	Courbure moy (deg)	Courbure écart-type
1	151695	0	1,33592999	23,61800003	11,04839993	0	358,7810059	214,8070068	132,3159943	-2,175410032	1,414019942	3,589430094	-0,138435006	0,424971998
2	11032,4004	78	3,336659908	16,66710091	10,06579971	295,7099915	351,8699951	316,4689941	14,40859985	-0,652624011	0	0,652624011	-0,353504986	0,199206993
3	29419,6992	15	6,601220131	17,26569939	12,98429966	162,7590027	203,875	179,6940002	9,696880341	-0,543852985	0,978936017	1,522789955	0,027192701	0,340723008
4	29419,6992	55	3,435070038	21,75489998	11,66499996	51,58190155	168,2319946	146,5509949	29,20879936	-0,326312006	0,87016499	1,196480036	0,173353001	0,254886001
5	24822,9004	48	5,421599865	14,05920029	9,188879967	1,468799949	357,5100098	259,9830017	131,6609955	-0,761394978	0,217540994	0,978936017	-0,157113001	0,260331988
6	10113	48	4,334280014	13,12709999	7,312489986	1,468799949	354,2890015	105,3649979	148,8730011	-0,543852985	0	0,543852985	-0,257093996	0,168970004
7	14709,9004	8	4,630579948	23,05470085	15,11830044	45	138,9450073	115,189003	22,98180008	-0,543852985	1,414019942	1,957870007	0,244734004	0,51522702
8	9193,66016	38	8,454580307	27,30990028	18,72999954	102,9950027	143,227005	132,9920044	11,80389977	-0,978936017	1,087710023	2,0666399	0,184909999	0,69315201
9	6435,56006	34	6,135900021	10,74779987	8,395870209	116,5650024	182,6029968	153,173996	24,65049934	-0,543852985	-0,108770996	0,435083002	-0,326312006	0,130006
10	11951,7998	10	2,360709906	11,42730045	6,559420109	231,3399963	302,4710083	269,651001	18,5576992	-0,435083002	-0,108770996	0,326312006	-0,259375989	0,131762996
11	15629,2002	11	8,351360321	17,70159912	14,96459961	113,1989975	154,9830017	130,2310028	11,95079994	-0,978936017	0,652624011	1,631559968	-0,0127965	0,353704005
12	6435,56006	32	12,93949986	15,81999969	14,56019974	188,1300049	193,6269989	190,7799988	2,124030113	-0,217540994	0,108770996	0,326312006	-0,093231998	0,122351997
13	14709,9004	16	5,096409798	23,15320015	13,22439957	104,0360031	213,4649963	179,2100067	32,07369995	-0,978936017	0,543852985	1,522789955	-0,394293994	0,384321988
14	9193,66016	30	11,68330002	20,2404995	16,06959915	116,5650024	172,4759979	145,9019928	18,50079918	-0,87016499	0,217540994	1,087710023	-0,467714012	0,326492995
15	17467,9004	34	1,056220055	13,45510006	8,453550339	26,56509972	348,6900024	162,1609955	55,70660019	-0,543852985	0,435083002	0,978936017	0,00572477	0,269854993
16	32177,8008	24	3,435070038	24,30590057	17,24559975	8,901720047	61,33599854	38,53570175	15,69229984	-0,87016499	0,761394978	1,631559968	0,0248619	0,410362005

Tableau 6 : Tableau récapitulatif montrant tous les variables pris en considération

III- REORGANISATION D'UNE BASE DE DONNEES DE LAVAKA

La réorganisation d'une base de données, a pour but de modifier des structures physiques. Elle génère par nature des déplacements de données. Les réorganisations peuvent avoir plusieurs causes :

Causes logiques : modification des structures qui nécessitent un chargement/déchargement de données.

Causes physiques : modification des règles de partitionnement des tables.

La réorganisation requiert des mouvements de données : soit un déchargement/rechargement, soit un déplacement des tables. La réorganisation permet également la modification des structures des tables.

La réorganisation permet de récupérer les espaces libres entre les segments au sein d'un data files, et donc de réduire la taille des data files.

Un système de réorganisation aurait permis de laisser tourner le processus de réorganisation tout en ouvrant les accès. Une autre possibilité existait : aborder le processus, car l'objet d'origine n'est pas modifié tant que la permutation entre la cible réorganisée et l'origine n'avait pas été effectuée.

IV-ISOLER LES LAVAKA REPRESENTATIFS DE LA SERIE

Par variable, nous avons calculé la moyenne et l'écart type ; puis on isole les lavaka qui ont des valeurs moyennes en éliminant les valeurs extrêmes, c'est-à-dire trop grandes ou trop petites. Nous avons utilisé la requête attributaire.

Voici donc quelque détail pour savoir en plus le SQL.

IV.1- Définition SQL

SQL est un langage de manipulation de bases de données mise au point. Il permet pour résumer, trois types des manipulations sur les bases de données :

- La maintenance des tables : création, suppression, modification de la structure des tables.
- Les manipulations des bases de données : sélection, modification, suppression d'enregistrements.

- La gestion des droits d'accès aux tables : contrôle de données, validation des modifications.

L'intérêt de SQL est que c'est un langage de manipulation de bases de données standard, vous pourrez l'utiliser sur n'importe quelle base de données. Ainsi, avec SQL, vous pouvez gérer une base de données Access, mais aussi Paradoxe, dBase, SQL server, Oracle ou Informix par exemple (les bases de données les plus utilisées).

IV.2- La maintenance des bases de données

La première série de commandes sert à la maintenance de la base de données : création des tables et des indexes, modification de la structure d'une table ou suppression d'une table ou d'un index.

IV.3- Les manipulations des bases de données

Une fois les tables créées, on peut commencer à y insérer des données, les mettre à jours, les supprimer ou y faire des requêtes. Toutes ces opérations sont des opérations de manipulation des bases de données.

IV.4- La commande SELECT

La commande SELECT est la commande la plus complexe de SQL. Cette commande va servir à faire des requêtes pour récupérer des données dans les tables. Elle peut être associée à une des commandes de manipulation de table vues avant pour spécifier une condition.

S'il y a plus d'un champ spécifié après SELECT, les champs doivent être séparés par des virgules. Les champs sont retournés dans l'ordre spécifié après la clause SELECT, et non pas dans l'ordre qu'ils ont été créés dans la table.

Les clauses SELECT et FROM doivent obligatoirement apparaître au début de chaque requête, on peut ensuite, indiquer des critères de sélection avec la clause WHERE.

IV.5- Les fonctions d'ensemble

SQL a cinq fonctions importantes : SUM, AVG, MAX, MIN et COUNT. On les appelle fonctions d'ensemble parce qu'elles résument le résultat d'une requête plutôt que de renvoyer une liste d'enregistrements.

V- RECHERCHE CORRELATION ENTRE LES VARIABLES TOPOGRAPHIQUES DES LAVAKA

La corrélation est une relation réciproque entre deux variables de la base de données de lavaka. La corrélation entre les deux variables est un moyen de savoir et de vérifier à partir d'un graphique s'il existe un lien entre eux.

Mode opératoire sur excel

- Pour lancer ce calcul, sélectionner d'abord deux variables.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Surface (m²)	Profondeur (m)	pente_min (deg)	pente_max (deg)	pente_moy (deg)	aspect_min (deg)	aspect_max (deg)	aspect_moy (deg)	aspect_ecart-type	irbure_r
1	151695	0	1,33592999	23,61800003	11,04839993	0	358,7810059	214,8070068	132,3159943	-2,1754
2	11032,40039	78	3,336659908	16,66710091	10,06579971	295,7099915	351,8699951	316,4689941	14,40859985	-0,6526
3	29419,69922	15	6,801220131	17,26569939	12,98429966	162,7590027	203,875	179,8940002	9,696880341	-0,5438
4	29419,69922	55	3,435070038	21,75489998	11,66499996	51,58190155	168,2319946	146,5509949	29,20879936	-0,3263
5	24822,90039	48	5,421599865	14,05920029	9,188879967	1,468799949	357,5100098	259,9830017	131,6609955	-0,7613
6	10113	48	4,334280014	13,12709999	7,312489986	1,468799949	354,2890015	105,3649979	148,8730011	-0,5438
7	14709,90039	8	4,630579948	23,05470085	15,11830044	45	138,9450073	115,189003	22,98180008	-0,5438
8	9193,660156	38	8,454580307	27,30990028	18,72999954	102,9950027	143,227005	132,9920044	11,80389977	-0,9789
9	6435,560059	34	6,135900021	10,74779987	8,395870209	116,5650024	182,6029968	153,173996	24,65049934	-0,5438
10	11951,7998	10	2,360709906	11,42730045	6,558420109	231,3399963	302,4710083	269,651001	18,5576992	-0,4351
11	15629,2002	11	8,351360321	17,70159912	14,96459961	113,1989975	154,9830017	130,2310028	11,95079994	-0,9789
12	6435,560059	32	12,93949986	15,81999969	14,56019974	188,1300049	193,6269989	190,7799988	2,124030113	-0,2175
13	14709,90039	16	5,096409798	23,15320015	13,22439957	104,0360031	213,4649963	179,2100067	32,07369995	-0,9789
14	9193,660156	30	11,68330002	20,2404995	16,06959915	116,5650024	172,4759979	145,9019928	18,50079918	-0,8701
15	17467,90039	34	1,056220055	13,45510006	8,453550339	26,56509972	348,6900024	162,1609955	55,70660019	-0,5438
16	32177,80078	24	3,435070038	24,30590057	17,24559975	8,901720047	61,33599854	38,53570175	15,69229984	-0,8701
17	31258,40039	0	4,347040176	19,44070053	12,70409966	0	355,1789856	111,6259995	133,3150024	-0,6526
18	8274,290039	76	13,82269955	23,95829964	17,07250023	51,34019852	96,92720032	72,92320251	15,61800003	-0,6526
19	9193,660156	43	12,01229954	21,81579971	16,35490036	124,4609985	197,8789978	148,9960022	22,36050034	-1,0877

Figure 40: Fenêtre montrant les variables

- Ensuite, cliquer sur graphique et nuages des points.

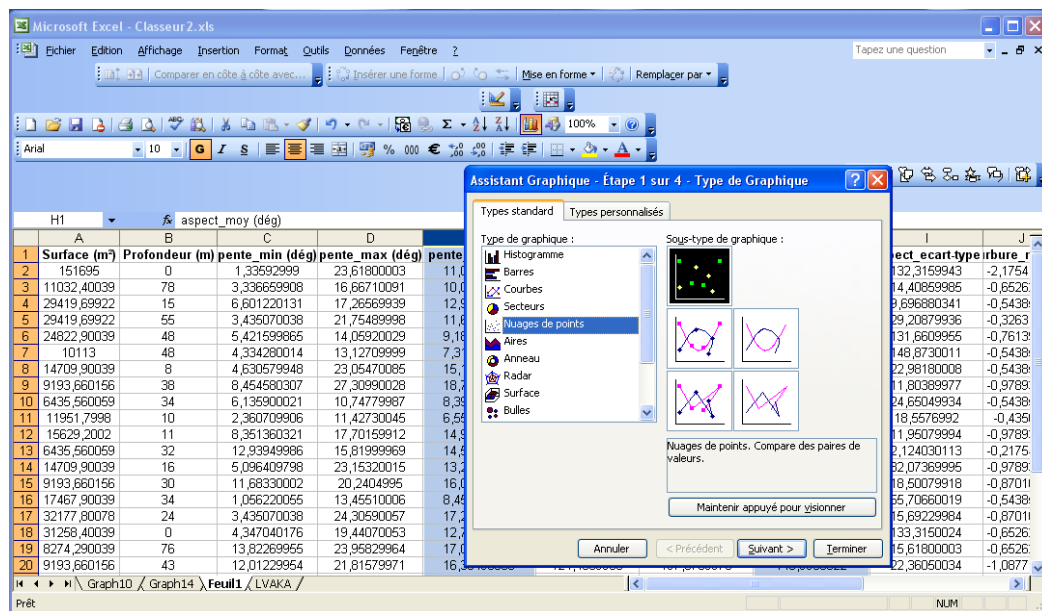


Figure 42 : Fenêtre montrant les types de graphiques

- Cliquer sur la série ;
- Choisir la plage des données ;

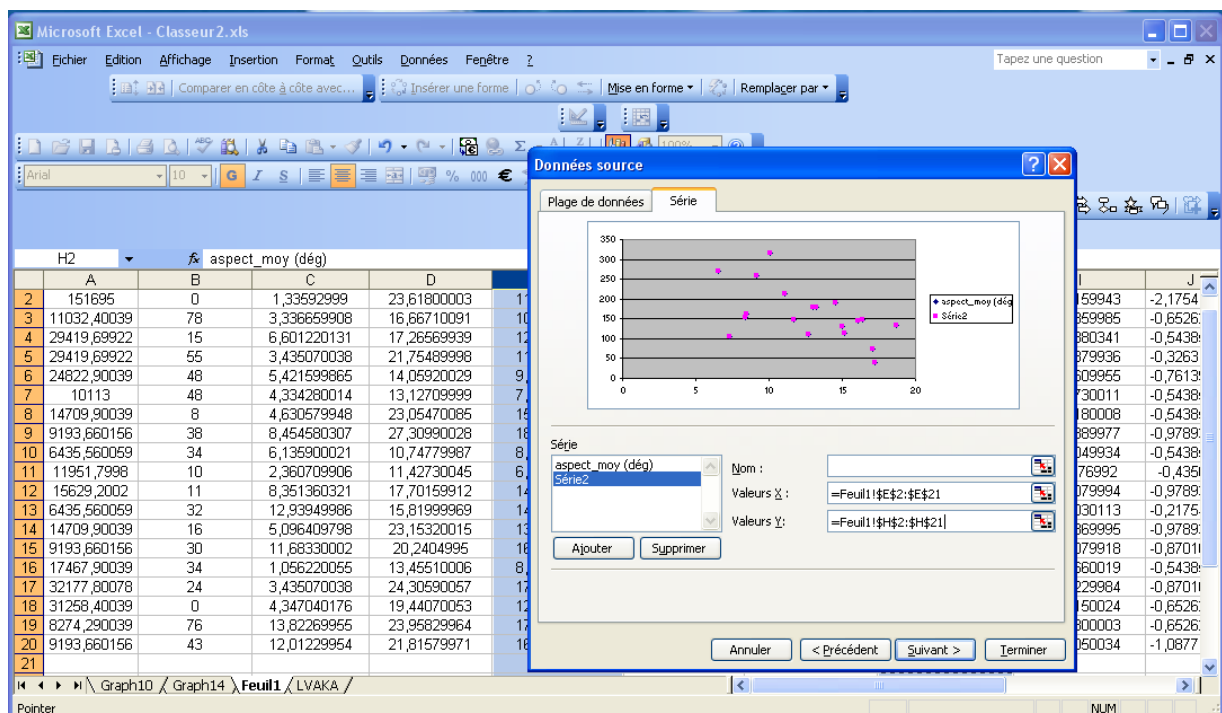


Figure 43 : Fenêtre montrant les nuages des points

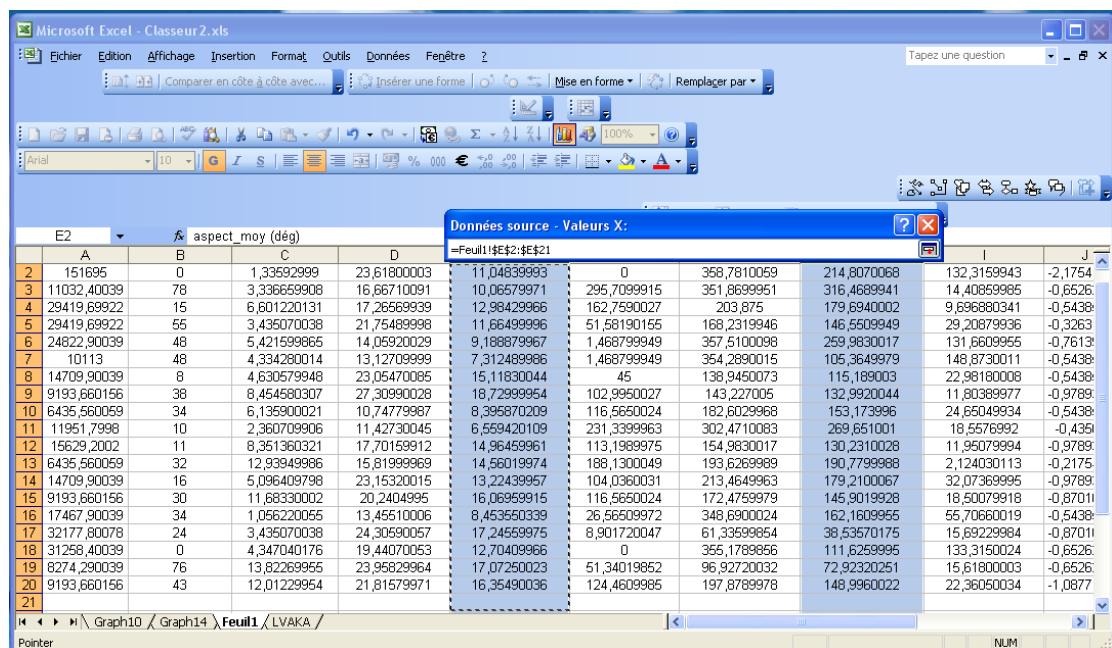


Figure 44 : Fenêtre montrant la plage des données

- Cliquez sur suivant ;

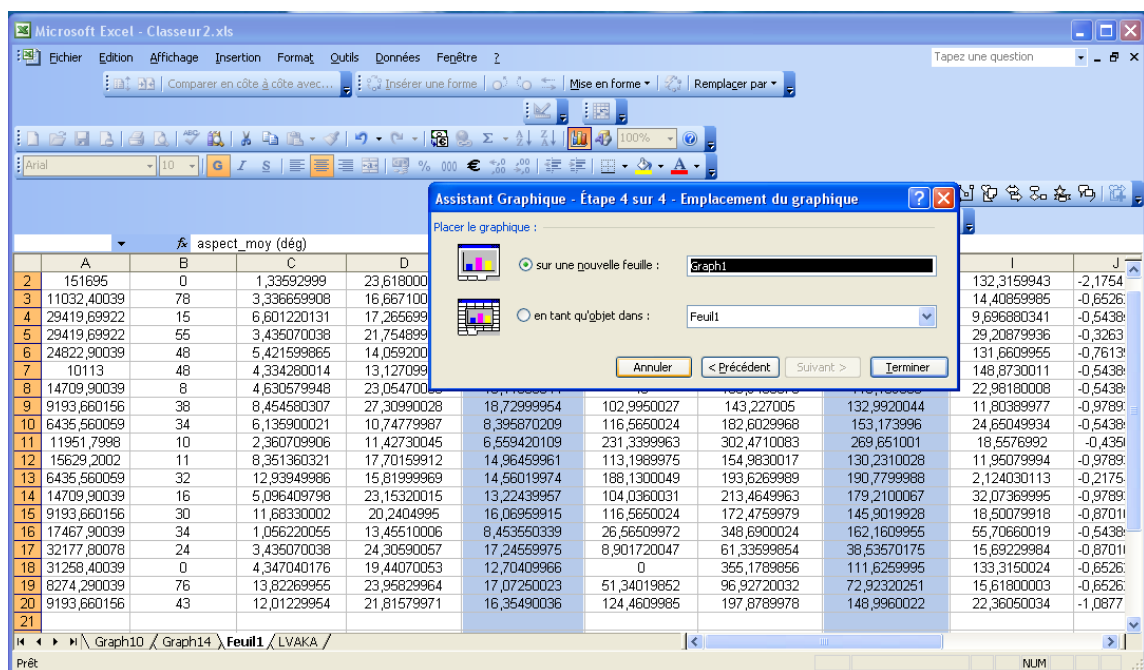


Figure 45 : Fenêtre montrant l'emplacement du graphique

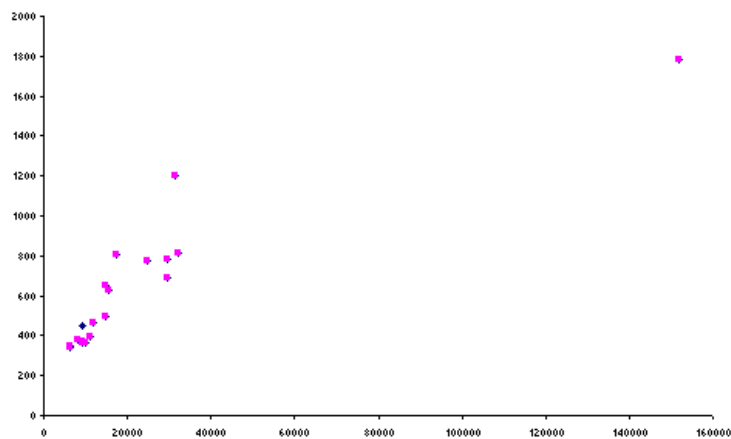


Figure 46: Graphique avec nuage des points

- Cliquez droite sur nuage des points ;
- Ajouter une courbe de tendance ;

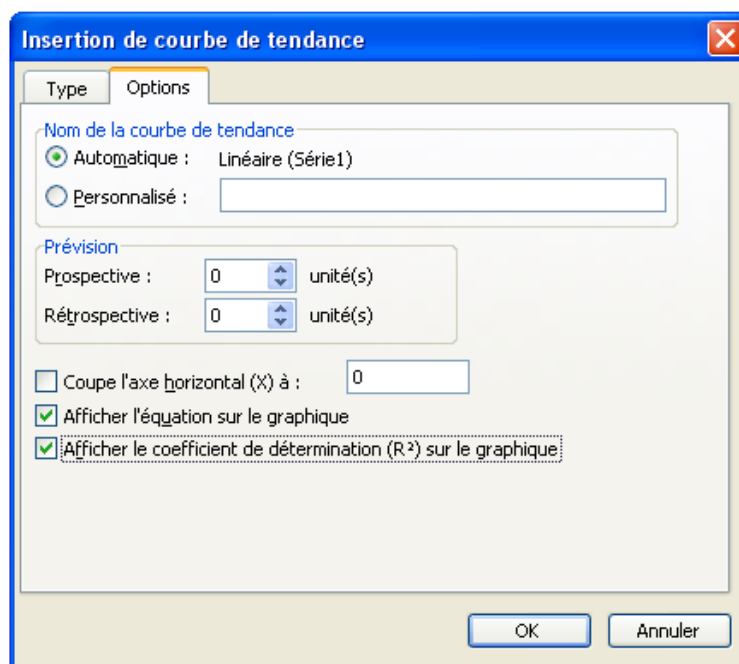


Figure 47 : Fenêtre montrant l'apparition de l'équation de régression et le coefficient

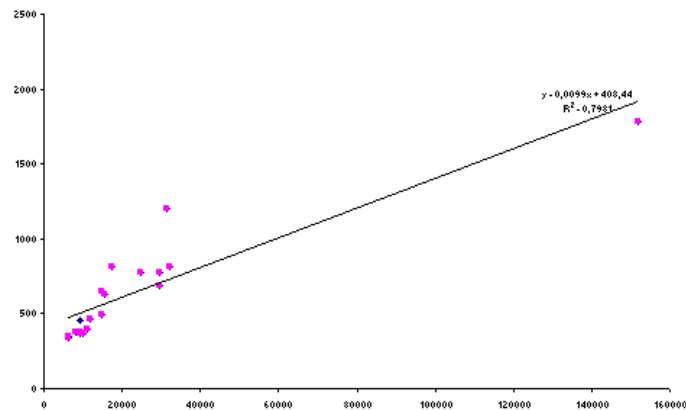


Figure 48 : Droite de régression

VI-METHODE DE SELECTION

Une requête SQL affiche les contenus de champs qui appartiennent à des tables pour les affichés selon certains critères.

Voici une méthode ou processus pour exécuter :

Cliquer sur le menu Sélection puis sur Sélectionner par attributs.

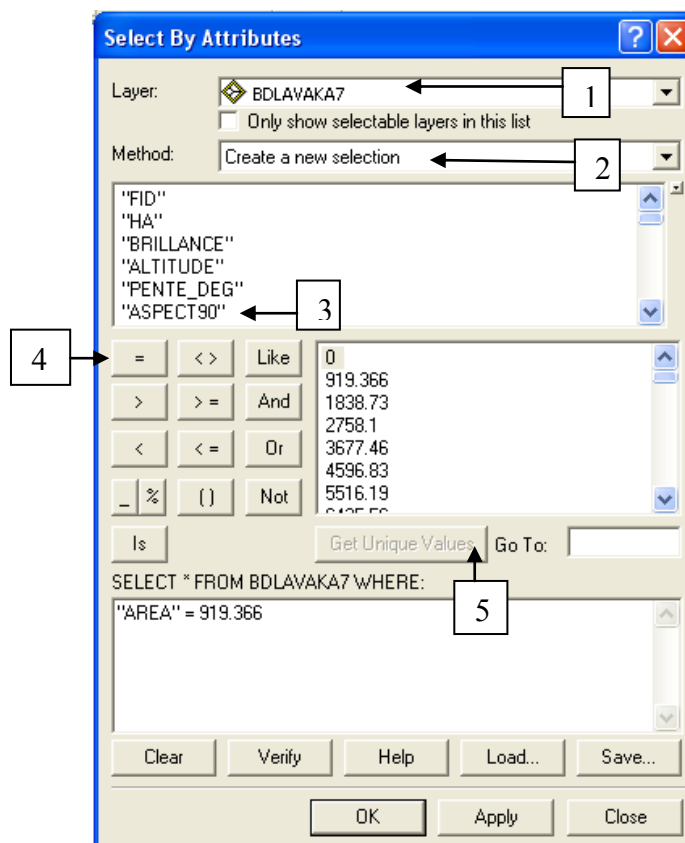


Figure 49 : Procédure pour effectuer une requête SQL

1 : Cliquez sur la liste déroulante de Layer et dans la liste, sur la couche contenant les entités que vous voulez sélectionner ;

2 : Cliquez sur la liste déroulante de Méthode puis, dans la liste, sur la méthode de sélection voulue ;

3 : Double-cliquez sur un champ pour ajouter son nom dans la zone d'expression ;

4 : Cliquez sur un opérateur pour l'ajouter à l'expression ;

5 : Si vous avez un très grand nombre de valeurs, cliquez sur le bouton Liste complète pour en voir la totalité. Pour ajouter une valeur à l'expression, double-cliquez sur le bouton Verify.

Pour voir si la syntaxe est correcte et si les critères saisis entraîneront bien la sélection d'entités, cliquez sur le bouton Verify ;

Cliquez sur Apply.

La syntaxe de la requête peut être enregistrée puis rappelée si nécessaire.

La barre d'état située au bas de la fenêtre ArcMap indique le nombre d'entités sélectionnées.

CHAPITRE.2- INTERPRETATION DES RESULTATS

I- CORRELATION ENTRE PENTE ET PROFONDEUR

L'analyse de la corrélation entre les variables, pente et profondeur de lavaka nous renseigne de l'action du ruissellement sur le sol à pente forte, c'est-à-dire l'érosion linéaire. Pour les lavaka de même superficie, en faisant varier la pente.

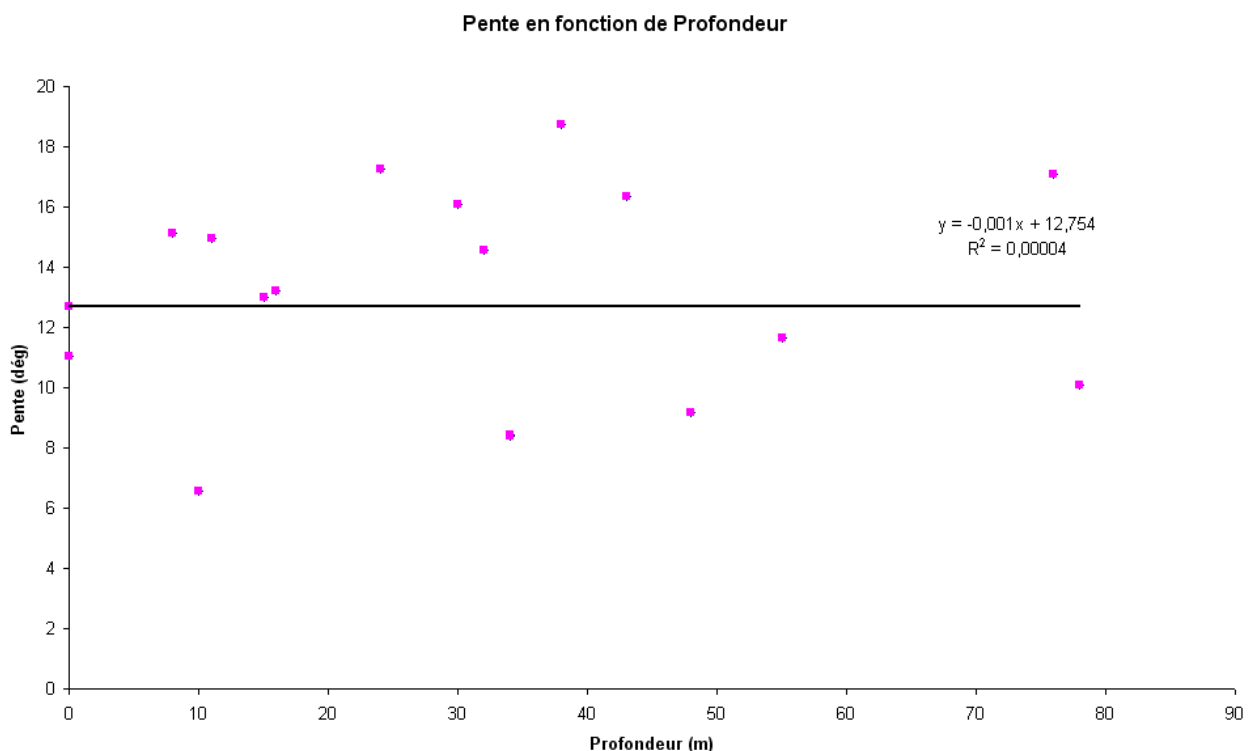


Figure 50: Représentation graphique de pente en fonction des profondeurs

Avant tout, nous allons voir ce que signifient la profondeur et la pente ; la profondeur c'est la distance du fond à la surface, c'est aussi la différence entre les altitudes (maximum et minimum) et la pente c'est l'inclinaison d'une surface par rapport à l'horizontale.

D'après ce graphe, la valeur de $R^2=0,00004$ équivaut à $R=0,006$, nous montre qu'il n'existe pas une liaison entre les deux variables (profondeurs, pentes). Cette relation loin d'être la réalité car la pente mesurée ici est à l'intérieur mais pas la pente du versant. La pente du versant constitue un facteur alors que la pente à l'intérieur des lavaka moins indique un niveau d'évolution du lavaka.

II- CORRELATION ENTRE PENTE ET SUPERFICIE

Les deux variables sont très importants pour étudier ce phénomène ; les deux paramètres sont complémentaires ; c'est-à-dire si l'un de deux n'existe pas on peut dire que le lavaka est difficile à étudier.

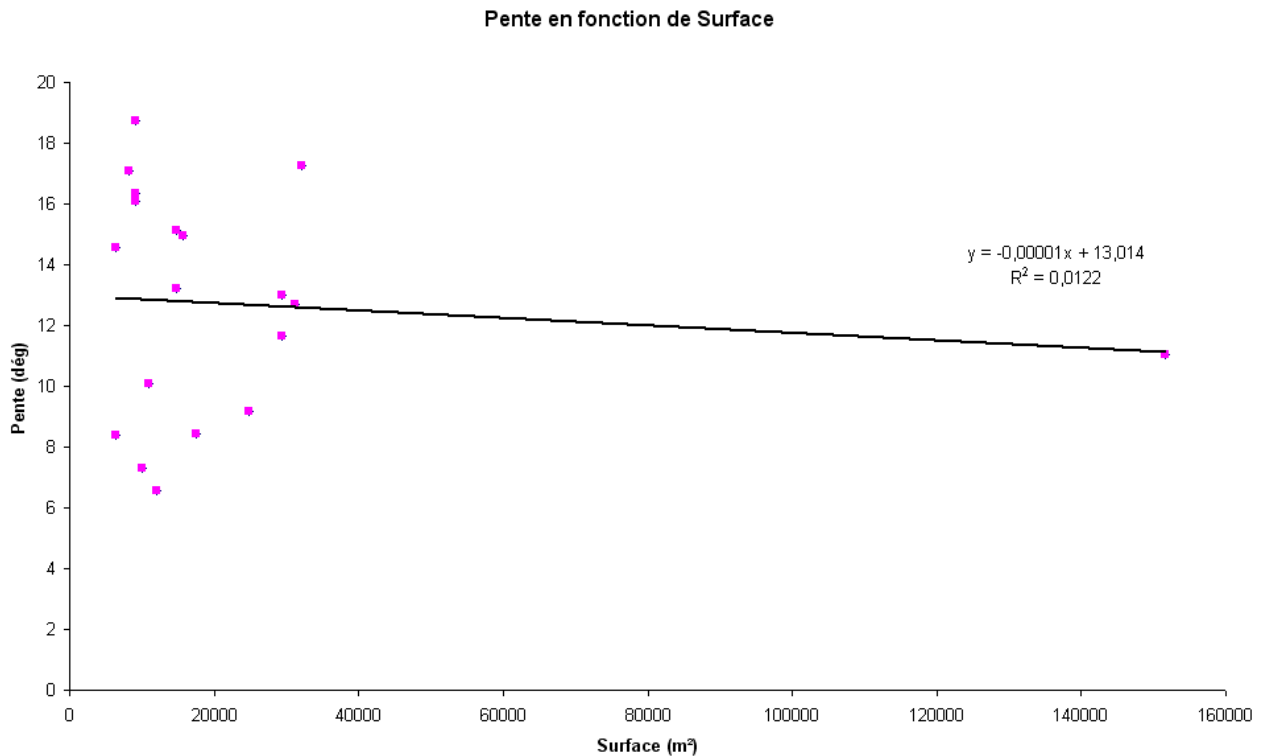


Figure 51 : Représentation graphique des pentes en fonction de superficies

Sur la figure ci-dessus les points sont presque à peu près de la droite mais d'autres points sont éloignés de la droite.

En plus de cette analyse est qualitative. Le coefficient de corrélation que l'on note R sur le graphe ci-dessus a pour valeur $R^2=0,0122$ et $R=0,1$; R est presque égale à 0, ce qui veut dire qu'il n'y a pas de lien entre ces deux variables. Pour mieux expliquer cette analyse, il faut donc se baser sur les deux paramètres afin de savoir les caractéristiques de lavaka.

En général, plus la pente est long, plus le ruissellement s'accumule et prend de vitesse qui entraîne une érosion en rigole et en ravin. Plus la pente est longue, plus la superficie s'élargit plus rapide et cet élargissement permet de savoir l'évolution de ce phénomène.

III- CORRELATION ENTRE PROFONDEUR ET SUPERFICIE

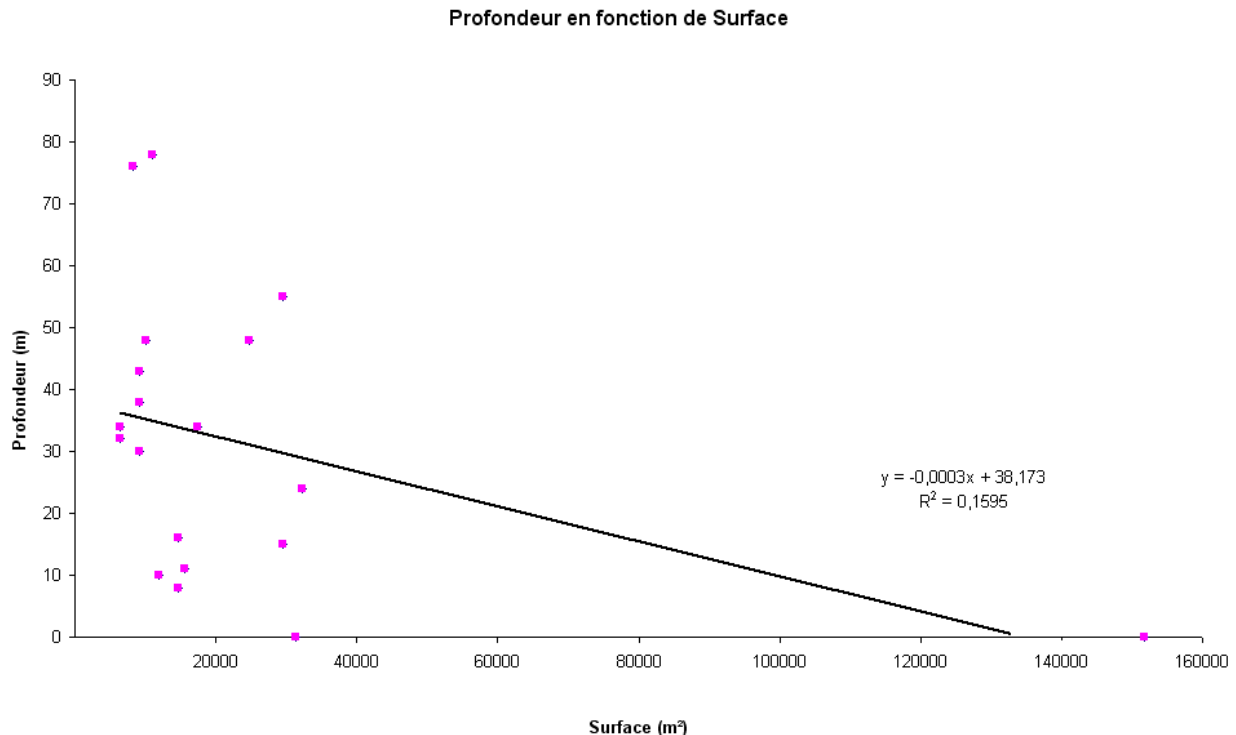


Figure 52: Représentation graphique de profondeurs en fonction de superficies

D'après la figure ci-dessus, nous avons pour la valeur de $R^2=0,1595$ équivaut à $R=0,4$, donc la valeur de R est près de 0, cela veut dire que cette relation est loin d'être linéaire. La valeur de R nous a permis de dire qu'il n'y a pas de liaison entre ces deux variables. Les résultats nous montrent que cette corrélation n'est pas bonne. C'est-à-dire que la droite se dirige vers le bas.

D'après le graphe, la profondeur ne dépend pas de la superficie, car la superficie augmente suivant l'intensité de ruissellement. Même si la profondeur devient plus en plus grande on ne peut pas dire que la superficie est grande. De plus, la profondeur augmente lorsque les eaux souterraines circulent directement sur la nappe.

IV-CORRELATION ENTRE PENTE ET ASPECT

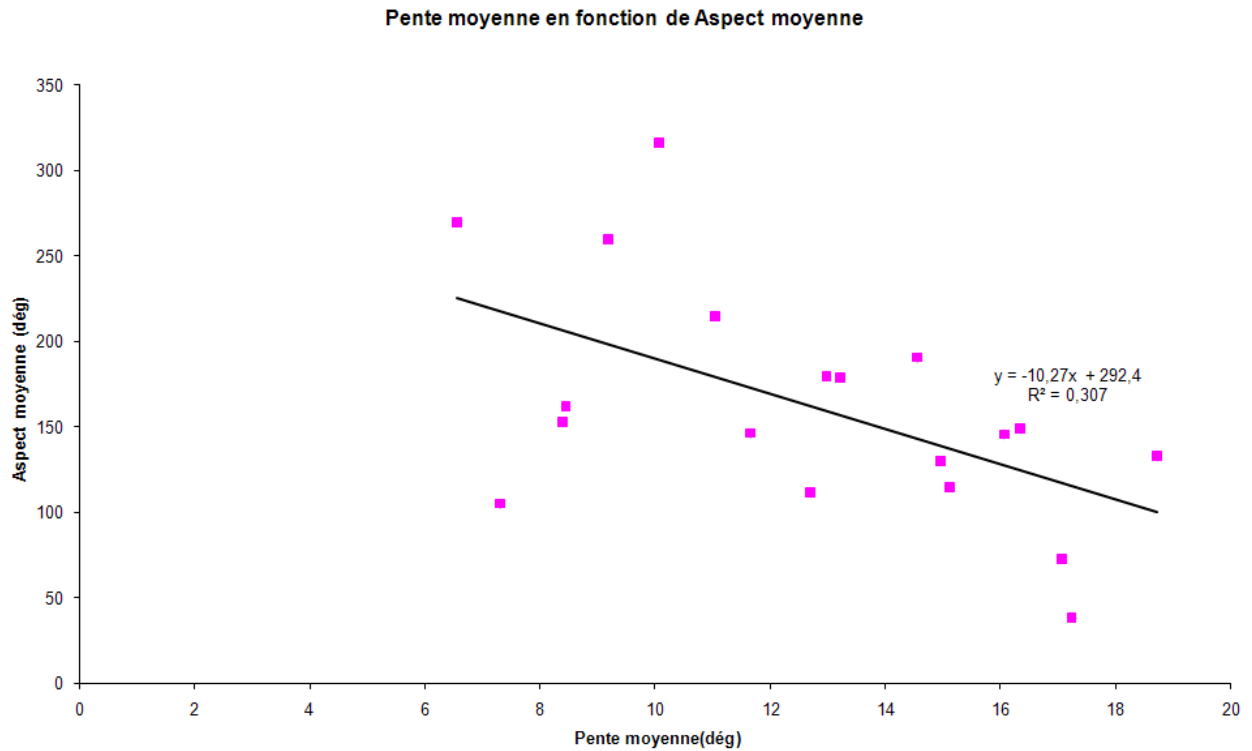


Figure 53 : Représentation graphique de pente en fonction d'Aspect moyenne

D'après ce graphe, nous avons pour $R^2=0,307$ équivaut à $R=0,6$ cela nous affirme qu'il y a une relation entre ces deux variables (pente et aspect). Cette relation décrit la réalité.

V- CORRELATION ENTRE ASPECT ET PROFONDEUR

Profondeur en fonction de Aspect moyenne

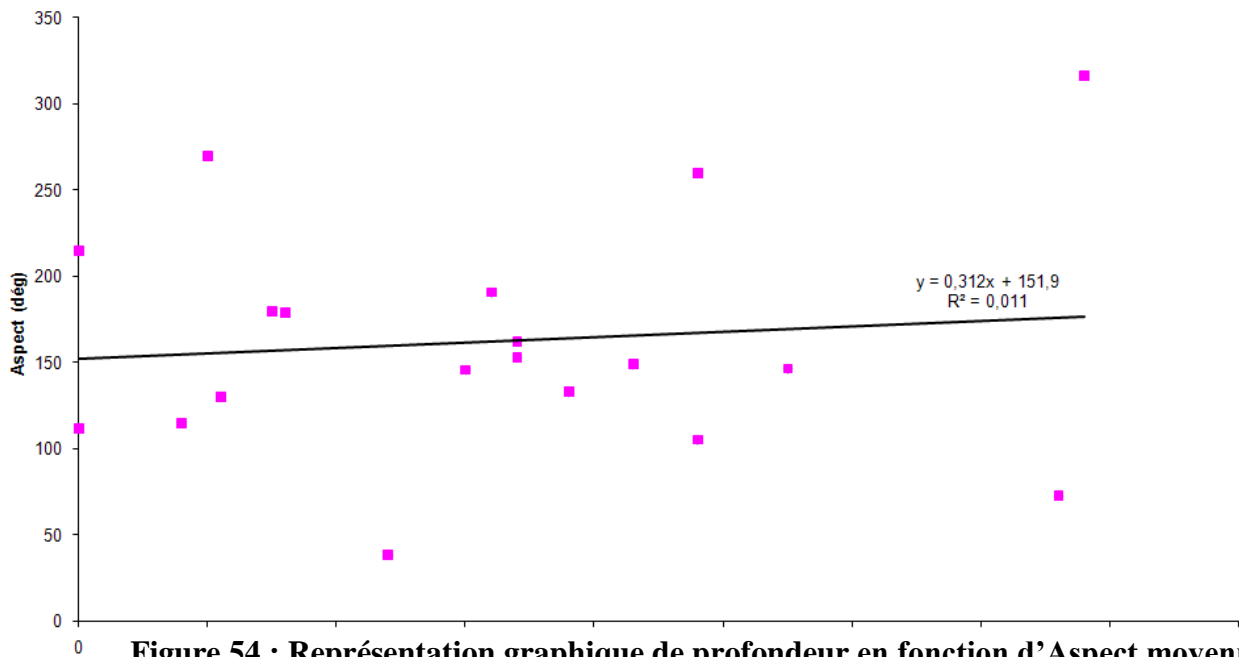


Figure 54 : Représentation graphique de profondeur en fonction d'Aspect moyenne

On a pour $R^2=0,011$ équivaut à $R=0,1$ cela signifie qu'il n'y a pas de relation entre Aspect et Profondeur.

VI-CRITERES MORPHOLOGIQUES

D'après ces résultats, nous avons vu que la profondeur et superficie ne sont pas corrélées comme la pente et superficie aussi. Tout d'abord, elles ne sont pas de même caractères. L'existence de ces paramètres est très importante à l'étude de phénomène de Lavaka ; il faut donc améliorer les relations entre ces variables afin de pouvoir les identifier et analyser.

D'autre part, la profondeur et pente ne sont pas corrélées ainsi que l'exposition (aspect en Anglais) et profondeur. Cela veut dire qu'elles sont différentes. De même, comme l'exposition indique le sens de l'orientation ; nous prenons seulement les sens de l'orientation vers Est et Ouest mais dans la partie Ouest est beaucoup de pluie, alors que vers l'Est il y a l'abondance de cyclone. Cette abondance de pluie et de cyclone provoquent la destruction directe sur ce phénomène.

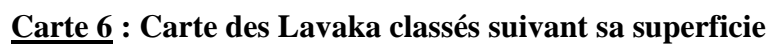
Plus la pente est forte, plus les lavaka sont actifs ; mais si elle est faible ou plat les lavaka sont non actifs.

D'une manière générale, la profondeur ne s'évolue pas en fonction de la pente et l'exposition mais elle s'évolue par l'écoulement des eaux souterraines.

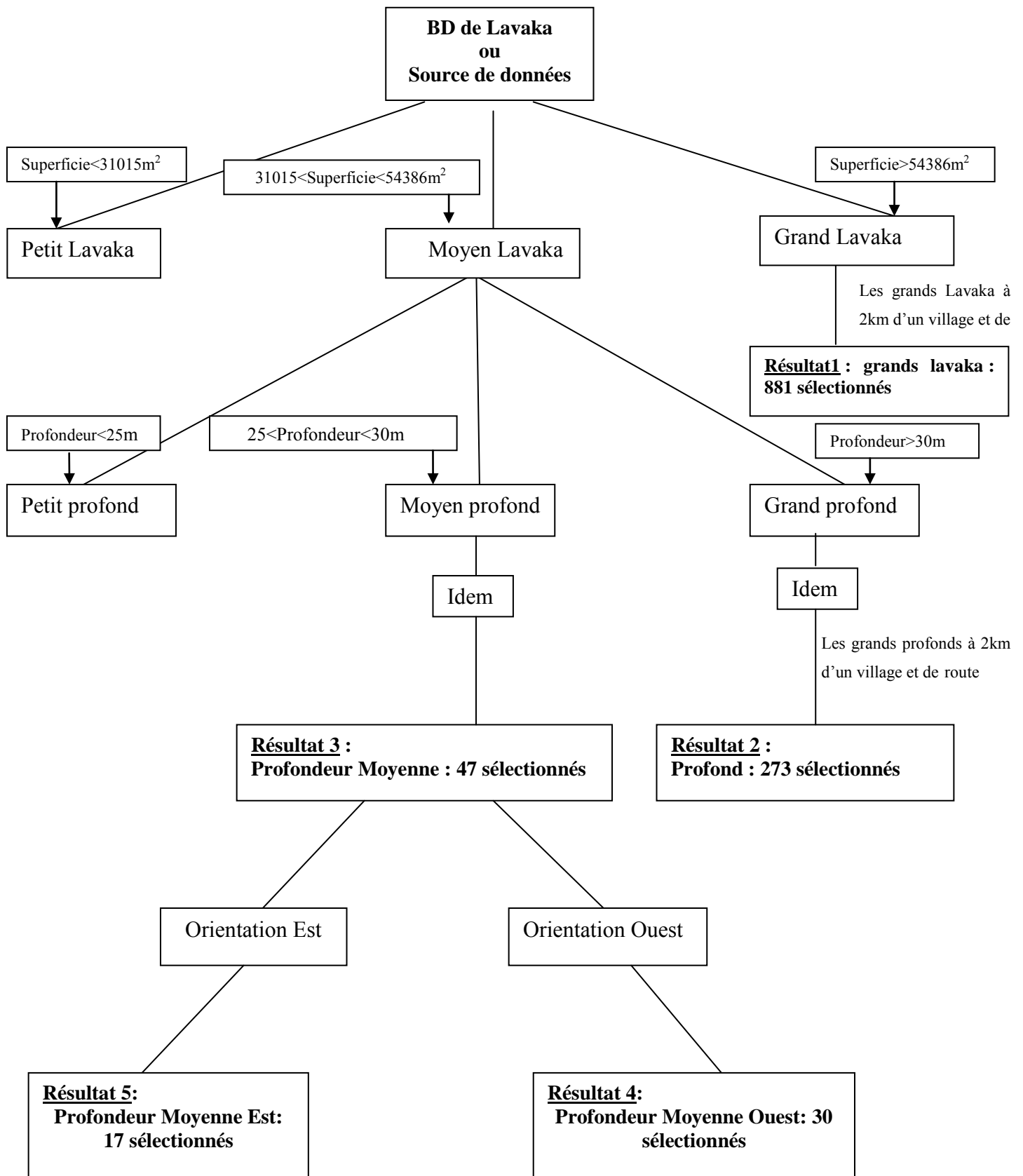
VII- CLASSIFICATION DES LAVAKA SELON LES CRITERES STATISTIQUES

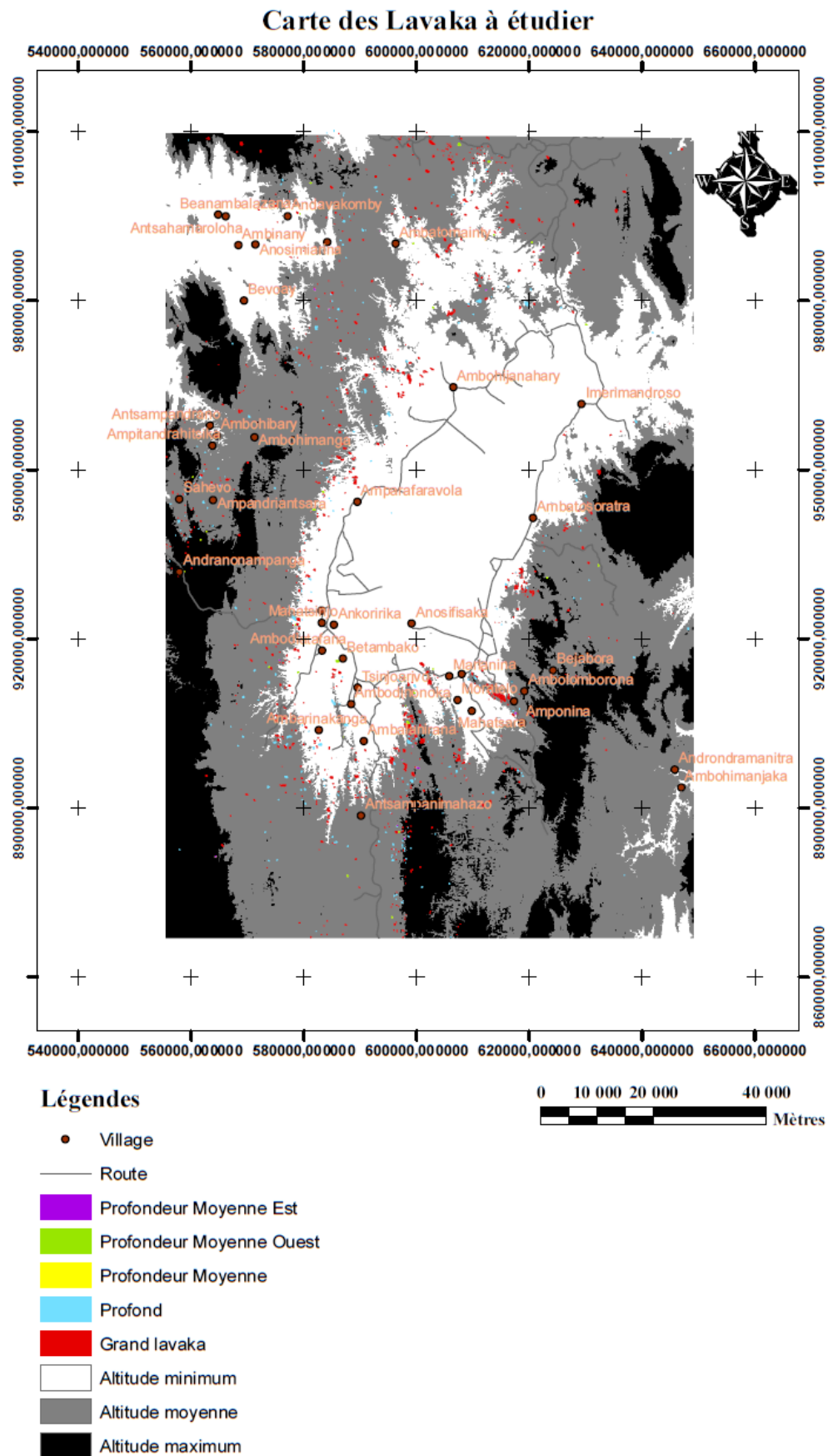
On les classe en trois catégories : grand, moyen et petit suivant le caractère morphologique.

Voici les résultats :



Voici l'arbre qui représente les processus de sélection des Lavaka à étudier :





Carte 7 : Carte des lavaka à étudier

De 10 à 20m les profondeurs de lavaka moins profond ;

De 30 à 50m les profondeurs de lavaka sont presque profondes alors que toutes les valeurs inférieures à 10m d'après ce carte ce phénomène a faible profondeur. Tandis que pour les pentes ont des valeurs supérieures à 14 (En général, la pente a pour valeur maximal de 90°) ; le lavaka a des pentes fortes mais toutes les valeurs inférieures à 14 on peut dire que le lavaka a des pentes faibles. De même, plus les pentes sont fortes le lavaka prend des risques et s'effondre vite.

Plus la pente est raide, plus l'eau érodera le sol et ce phénomène devient plus en plus profond.

VIII- CRITERES ACCESSIBILITÉS

L'objectif de ces critères accessibles est de voir la distance des Lavaka par rapport au village et la route. Et nous prenons la distance à peu près 2 kilomètres afin de pouvoir retourner dans la même journée.

De plus, à partir des critères d'accessibilité que nous pouvons choisir d'implanter les points d'observation.

CONCLUSION

La vulnérabilité à l'érosion est très marquée à Madagascar, avec des pertes estimées en moyenne entre mille (1000) et deux milles (2000) par hectare par an. La pluie est le moteur principal de l'érosion. L'érosion reste cependant conditionnée par les facteurs climatiques, mais surtout par la densité de la couverture végétale. Le type de sol, sa structure, sa teneur en argile interfèrent aussi sur l'importance de l'érosion.

La réactualisation du BD de lavaka est un outil d'analyse de l'origine et l'évolution des lavaka. L'étude a permis de déceler la relation entre les variables topographiques extraites du MNT. La corrélation entre les variables permet de réduire le nombre de facteur pris en considération. La GDEM est un MNT au format de fichier raster, a permis d'améliorer la base de données issue de GTOPO30 de SRTM. La résolution est suffisant et compatible avec la carte topographique au 1/100 000 et l'image de Landsat ETM qui couvre presque la totalité de l'île.

La puissance des logiciels de SIG a permis de gérer toutes les données en entrant. Il prend une grande place en termes d'exploitation des données.

L'élaboration d'une base de données complète incluant tous les facteurs y compris les eaux souterraine n'est pas réalisable dans le cadre de ce mémoire. Cependant, cette étude a permis d'identifier au totale mille deux cent quarante-huit (1248) lavaka à étudier.

L'amélioration du résultat dépend de la qualité globale du MNT et de la carte des lavaka. Elle nécessite une nouvelle carte issues des images de THR par exemple et d'une MNT plus précise d'au moins 10m de résolution.

WEBOGRAPHIE

- 1) agroecologie.cirad.fr/pad/mora3.pdf
- 2) bchcbd.naturalsciences.be/madagascar/tbe/telechargement/vakinakaratra/données_vakinakaratra.pdf
- 3) horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/plein-textes-7bre/42453.pdf
- 4) pageperso.aol.fr/Mahagagamad/lavaka.html
- 5) www.pnae.mg/chm-cbd/implementation/doc/pe3-document-strategique.pdf
- 6) www.pnae.mg/pudi/analyse-diagnostic-amoronimania.pdf
- 7) www.refer.mg/cop/nature/fr/reem/reem0302.htm
- 8) www.vetiver.com/MAD-conservation.pdf
- 9) <http://mate.nis.sch.dk>
- 10) <http://isk.nis.sch.dk>
- 11) www.economie.cours.fr
- 12) 7bre/42453.pdf
- 13) Emmanuel.Grenier@Remis-ms.fr

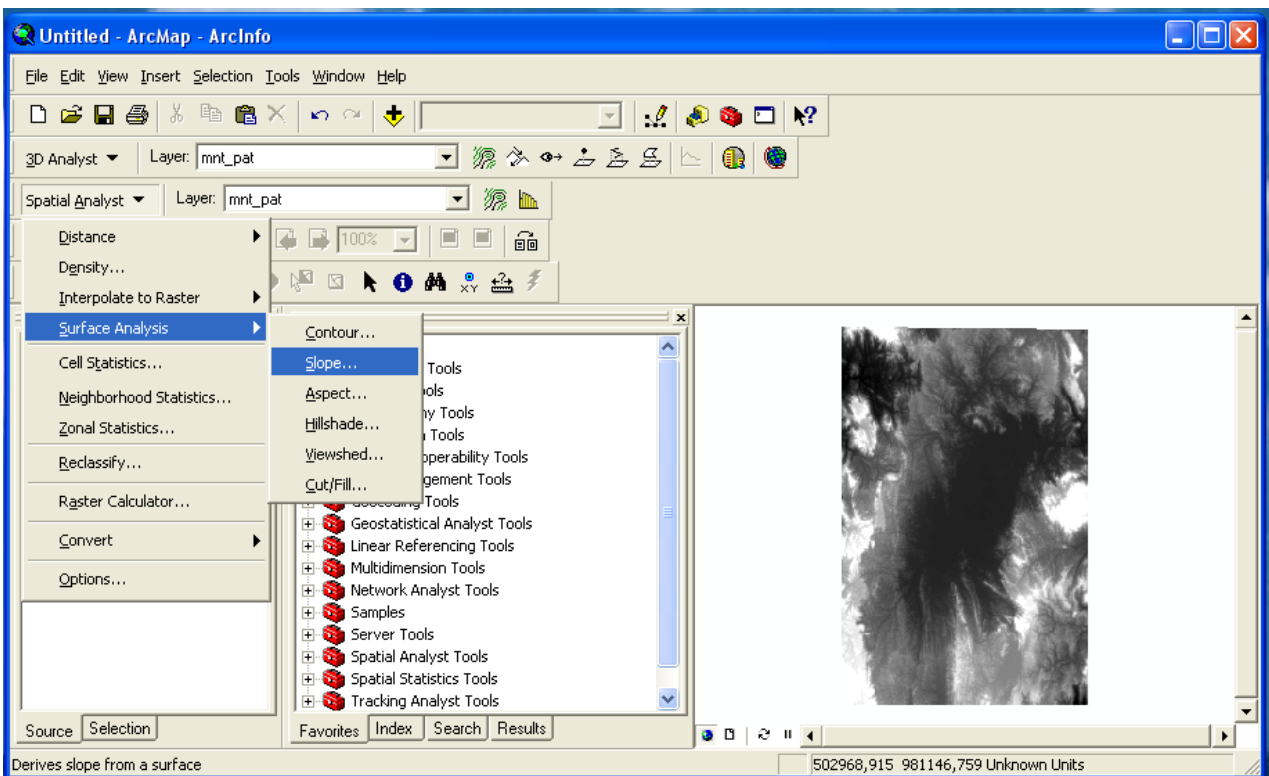
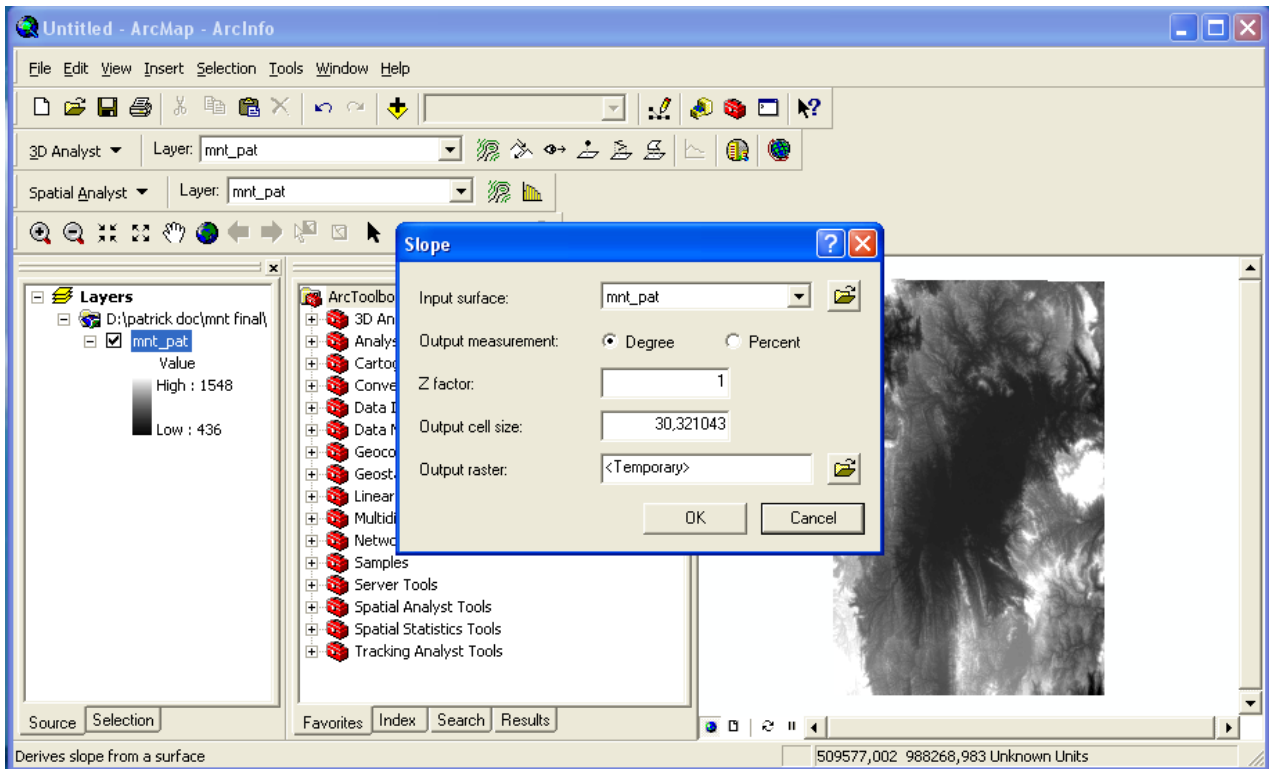
BIBLIOGRAPHIE

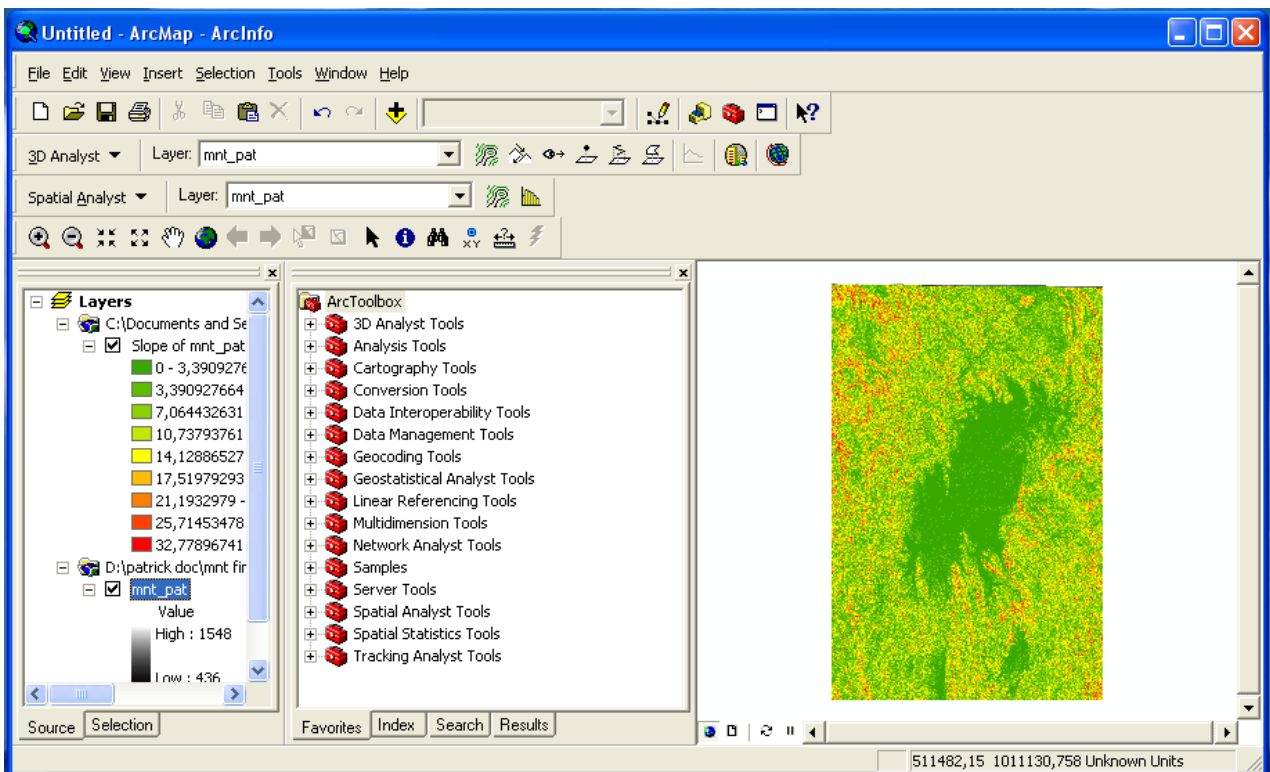
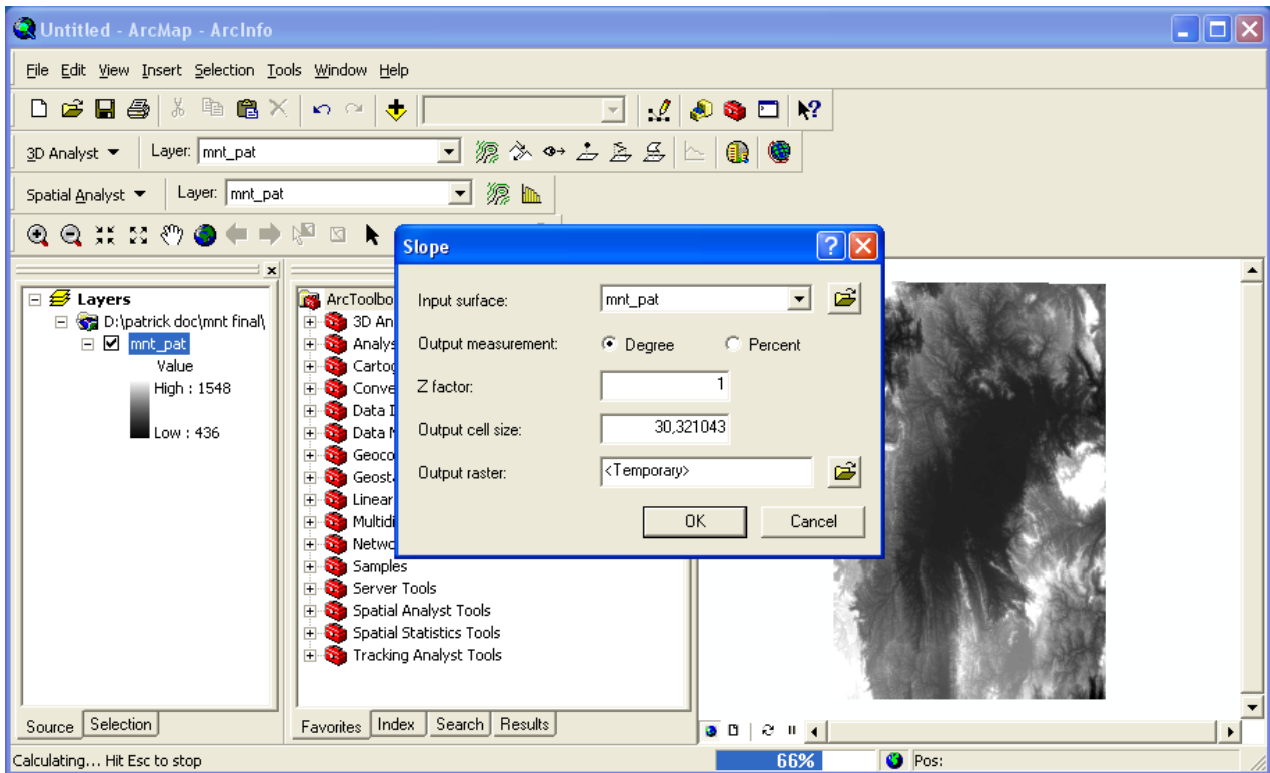
- 1) Besairie (H), 1973, Précis de géologie Malgache, p.69-72
- 2) Bourgeat (F), 1972, Sols sur socle ancien à Madagascar : types de différenciation et interprétation chronologique au cours du quaternaire, Paris : ORSTOM, 335 p.
- 3) Bureau géologique de Tananarive, 1952. Contribution à l'étude de l'érosion du sol à Madagascar, p.12-22
- 4) Riquier (J) et Segalen (P), Notice sur la carte géologique du Lac Alaotra
- 5) Riquier (J), 1954, Etude sur les lavaka, MISM (Mémoire de l'Institut Scientifique de Madagascar), série D, tome IV, pp. 169-189

ANNEXES

Processus de produire une carte de pente

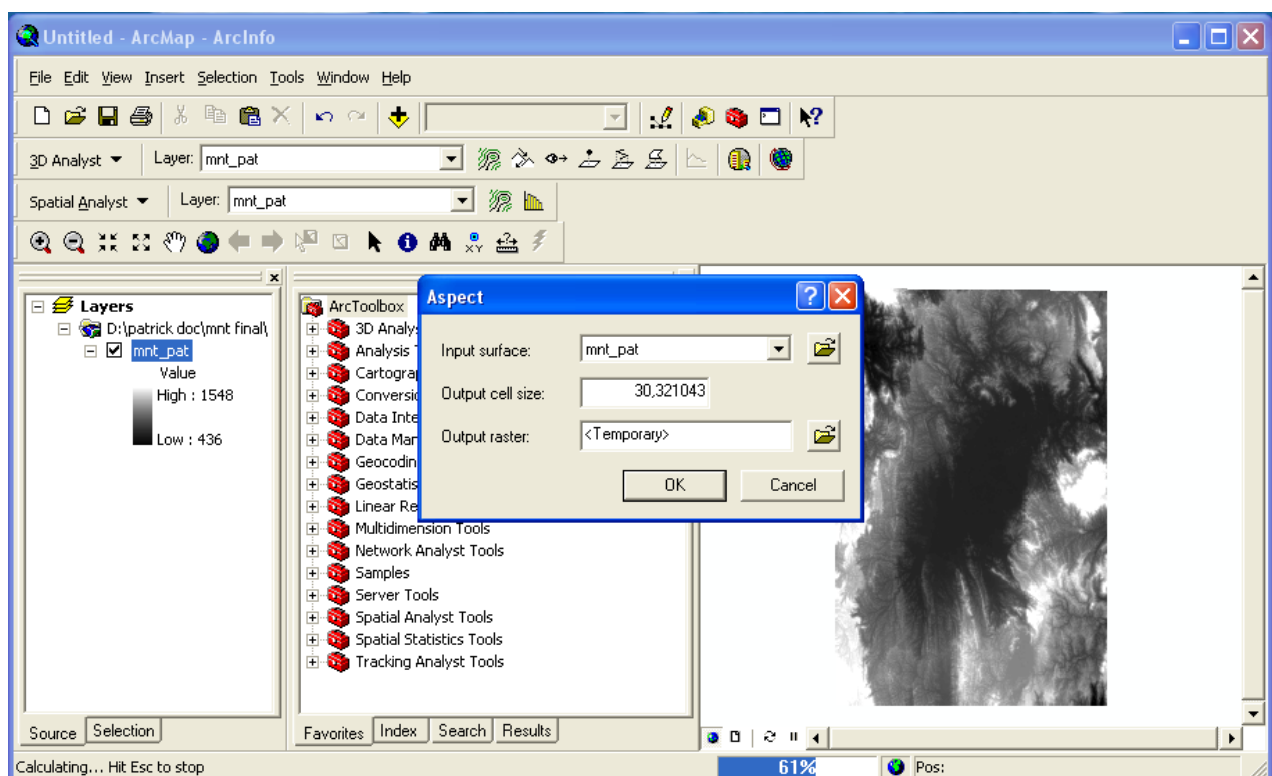
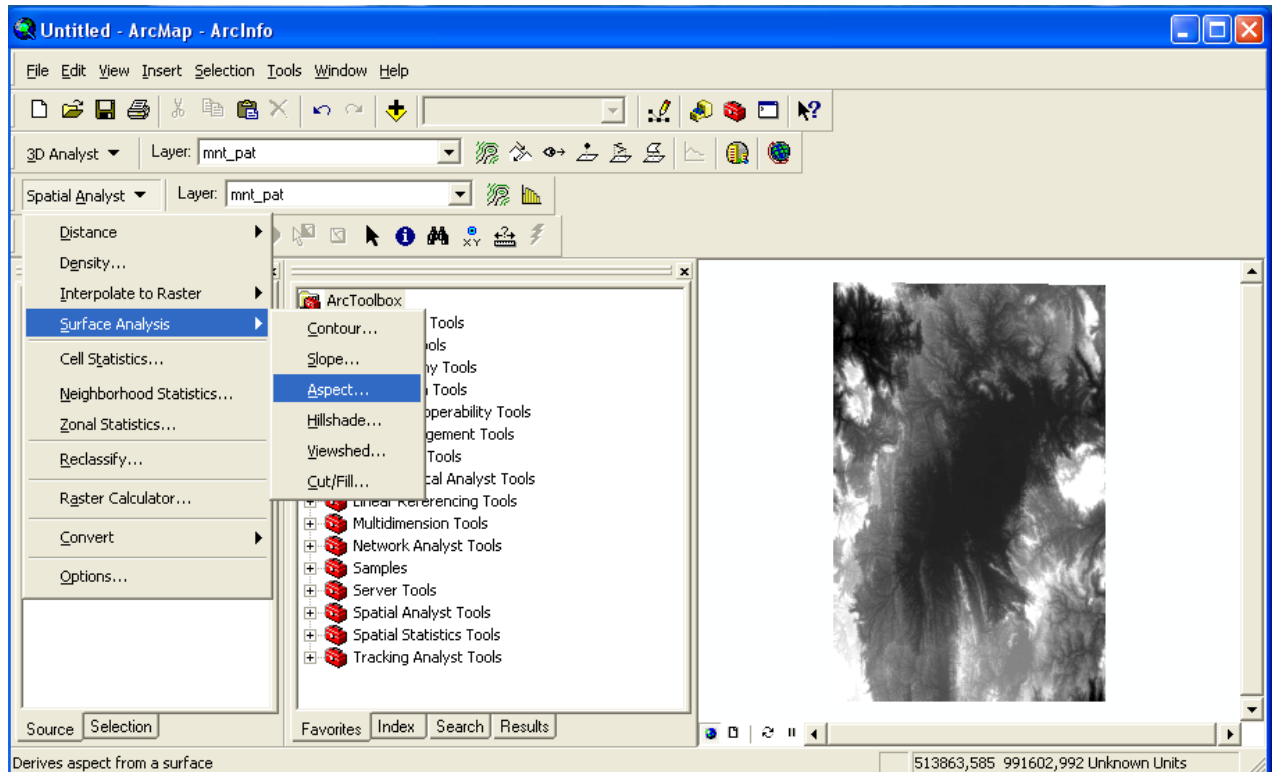
Une des possibilités de 3D Analyst ou Spatiale Analyste est de produire une carte de pente à partir du modèle numérique de terrain .Dans ArcMap :

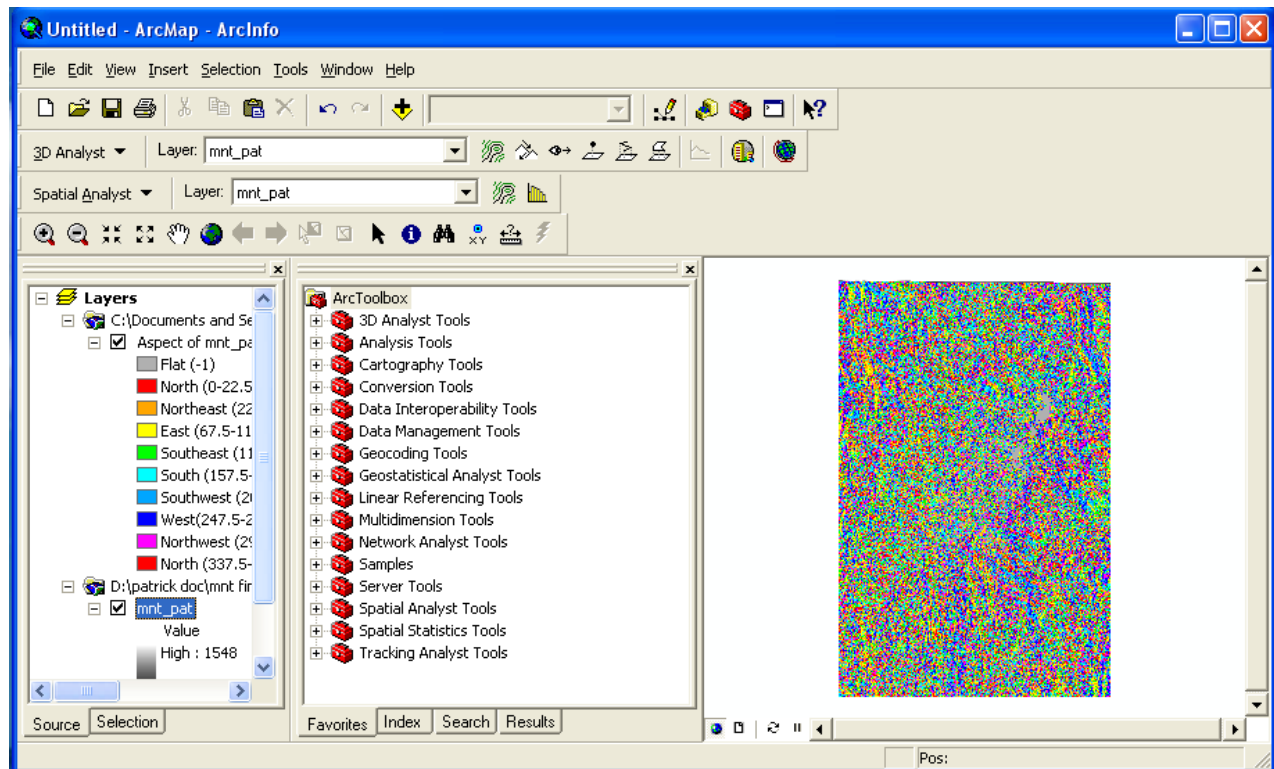




Processus de produire une carte d'Exposition

Une carte d'Exposition est obtenue à partir de Modèle Numérique de Terrain et nous avons choisir l'extension Spatiale Analyste. Dans ArcMap :



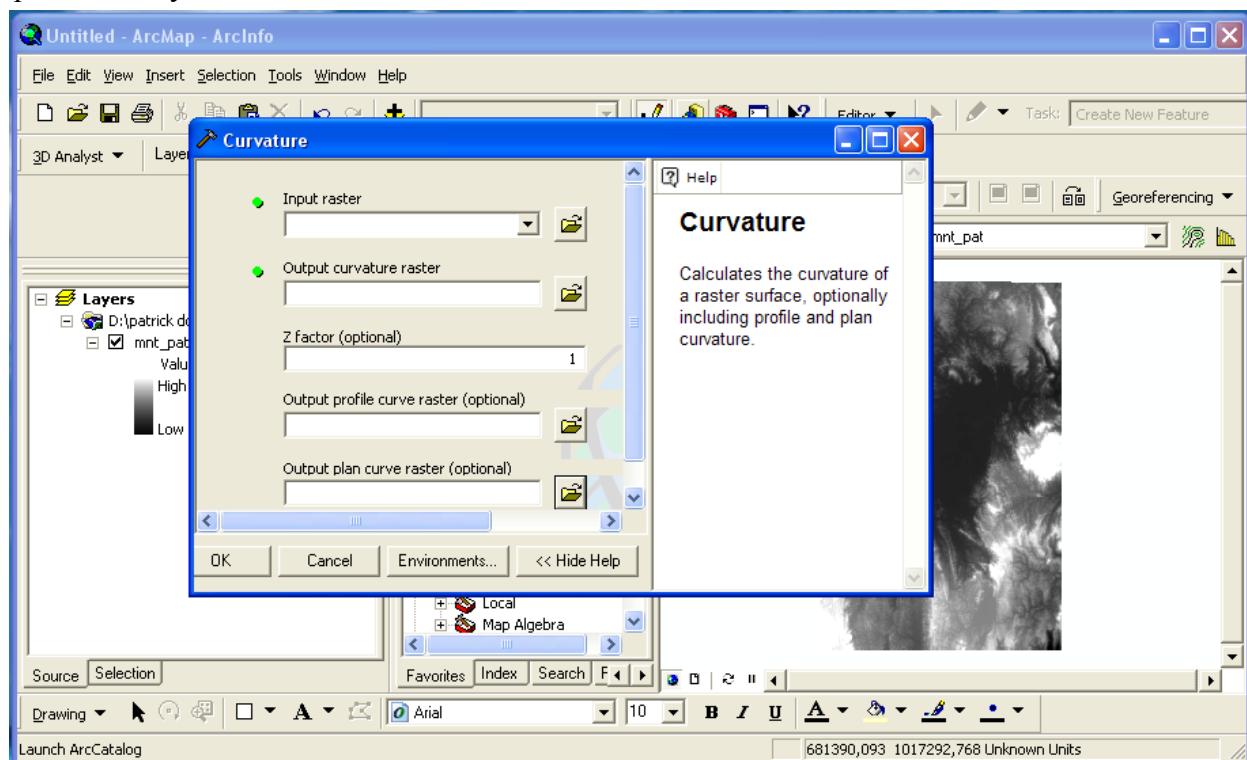


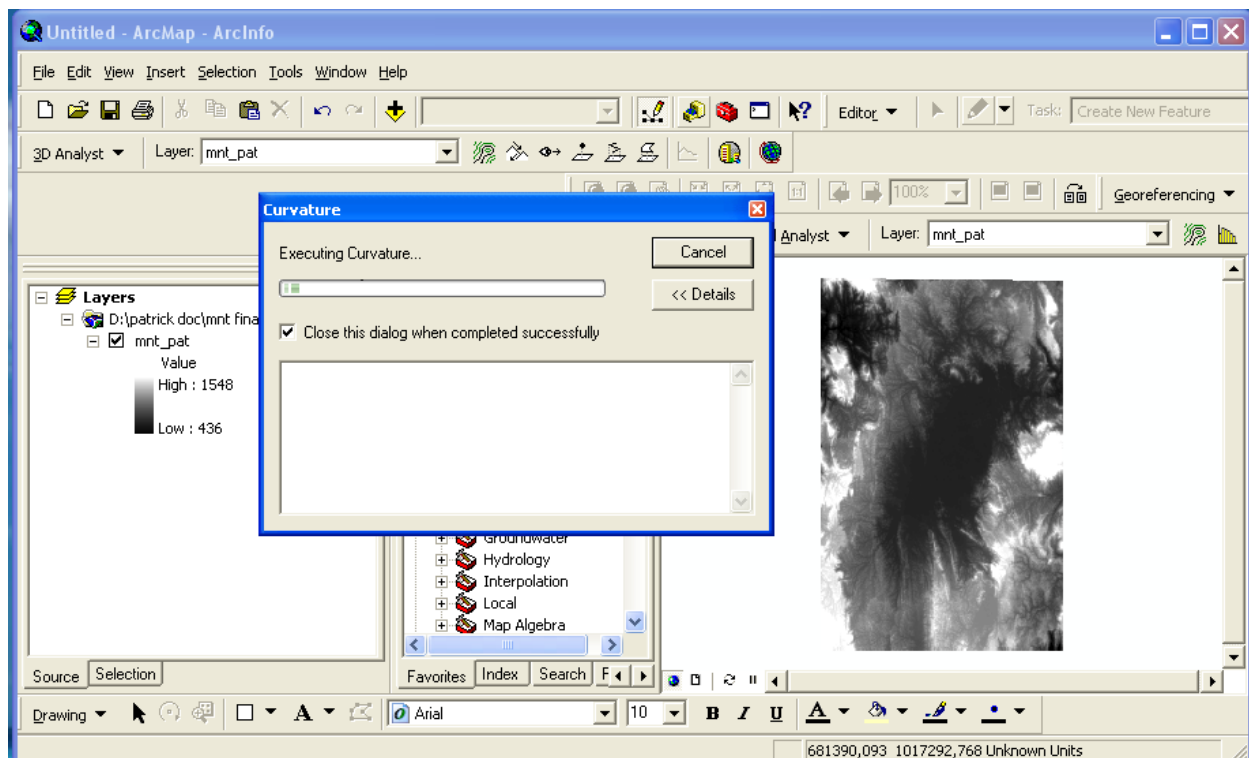
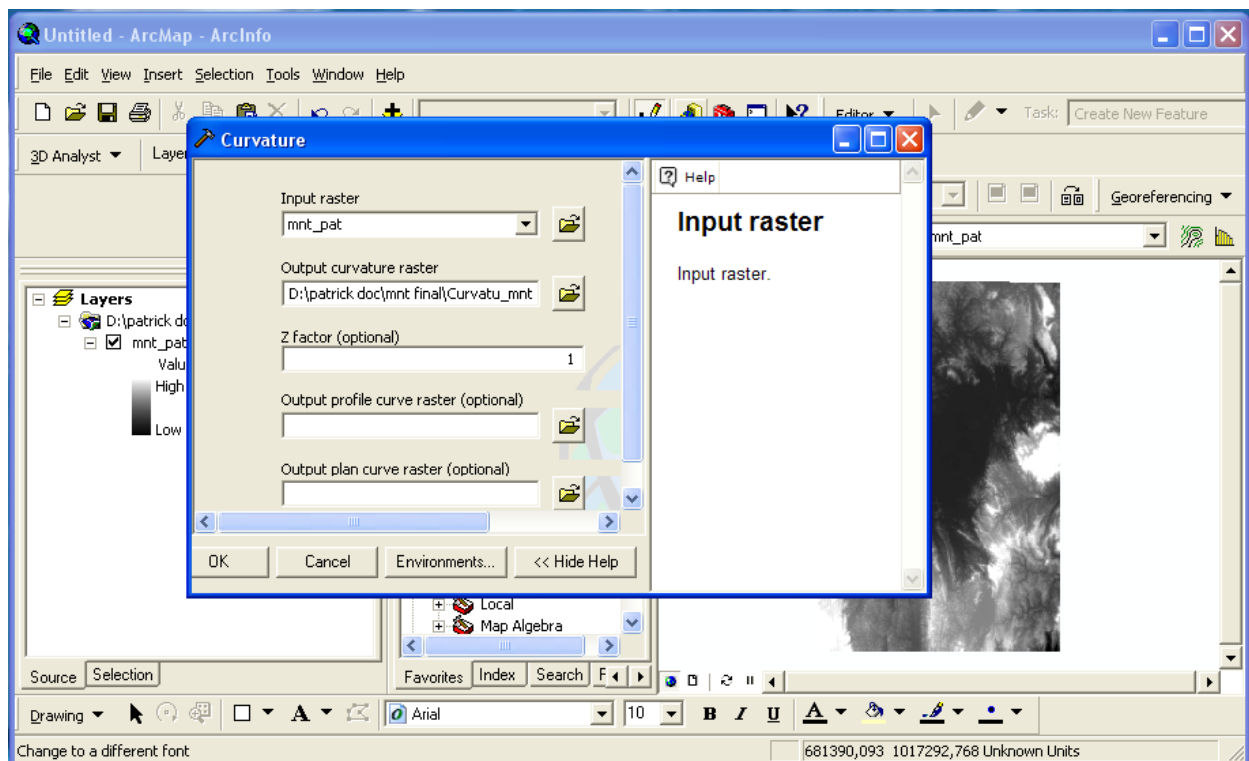
Calcul de Curvature

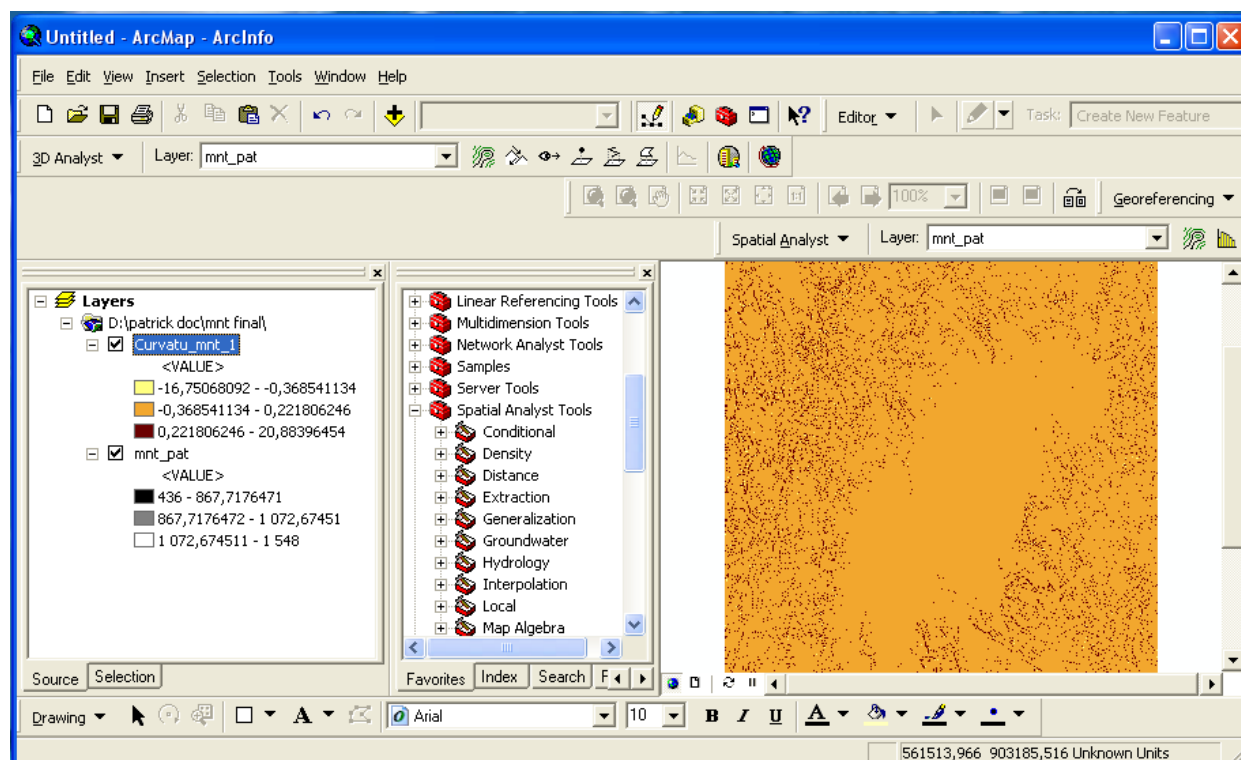
La curvature est obtenue à partir de Modèle Numérique de Terrain. Dans ArcMap

Ouvrir MNT puis aller dans l'Arctoolbox :

Spatiale Analyste tools→ Surface→ Curvature







Auteur : ANDRIANANTENAINA Jeannot Patrick

Lot FMA I 67ha Sud Antananarivo 101

Téléphone : 032 45 043 80

E-mail : andrianantenainajeannotpatrick@yahoo.fr

Rapporteur : **Monsieur RABARIMANANA Mamy Herisoa**

Titre de ce mémoire : REACTUALISATION BD DE LAVAKA A PARTIR DE MNT GDEM
30M DE RESOLUTION ET IDENTIFICATION DES ZONES FAVORABLES A
L'IMPLANTATION D'UN POINT D'OBSERVATION

Nombre de pages: 97

Nombre de figures : 54

Nombre de tableaux : 6

Nombre de cartes: 7

Résumé :

Ce travail consiste à mettre en évidence, les différentes étapes nécessaires pour la réactualisation du BD de lavaka, en particulier celui d'Alaotra à partir de MNT GDEM.

La base de donnée ainsi formée a permis d'identifier mille deux cents quarante huit (1248) lavaka à étudier en détail. L'élimination des facteurs redondants est possible grâce à l'utilisation des méthodes statistique. Le SIG est l'outil de base pour la création et la manipulation des données.

La visualisation du MNT GDEM est une interface aux données qui le composent sous SIG : quantification, analyse, exploration et communication. Une visualisation des données permet d'élaborer des procédures d'amélioration.

Mots clés : Lavaka, érosion, MNT, GDEM, BD, SIG.