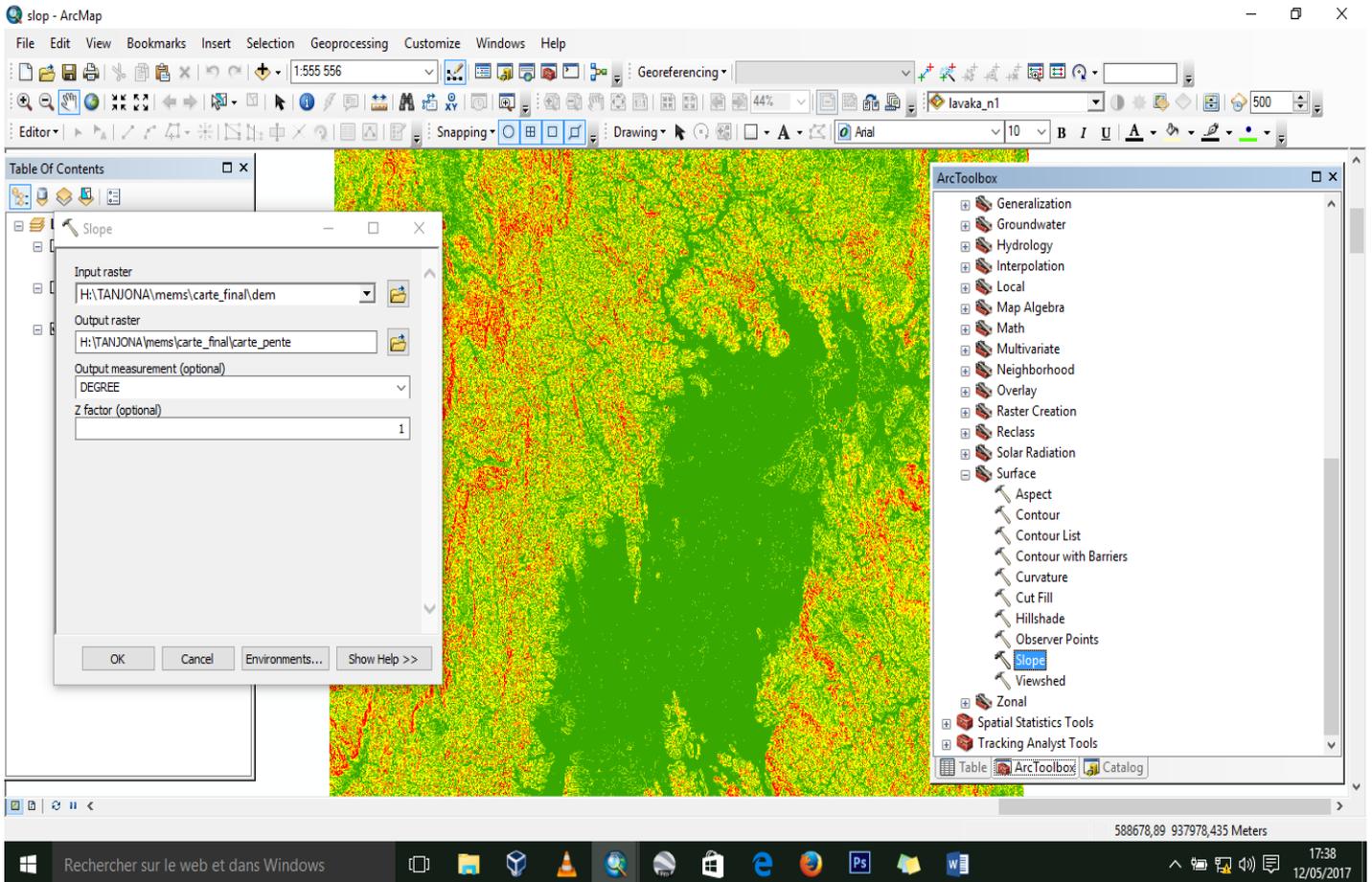


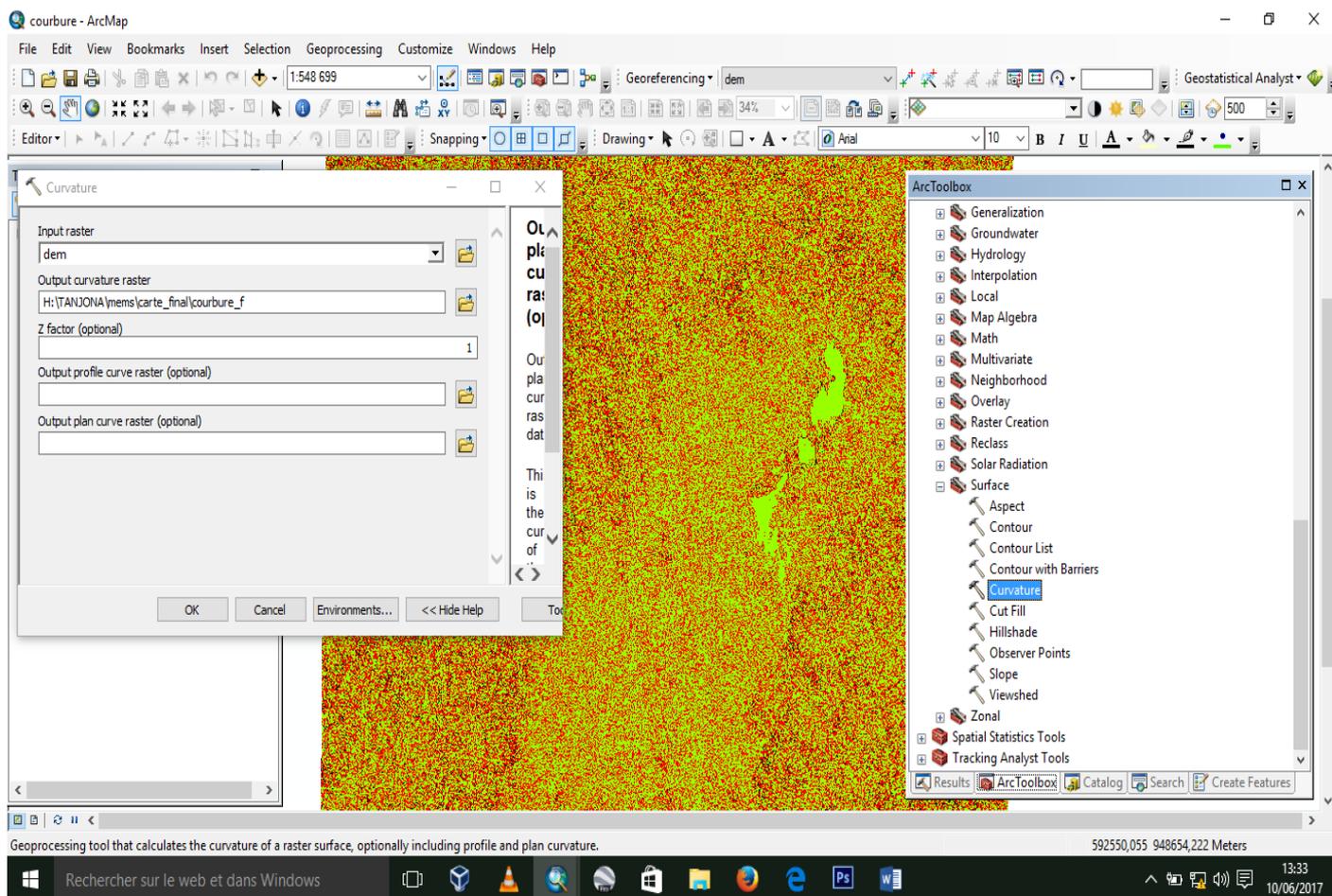
- **Carte des pentes :**

En utilisant dans le module ArcToolbox l'outil Slope (pente) qui est dans Spatial Analyst Tools puis surface. La figure suivante va résumer cela :



- **Carte des courbures**

En utilisant le module ArcToolbox où il y a l'outil Curvature (courbure) dans Spatial Analyst Tools puis Surface. La figure suivante va détailler cela :



ANNEXE 3 : RAPPEL SUR LES INDICATEURS STATISTIQUES

On va résumer brièvement 3 indicateurs statistiques basiques qu'on a utilisés pour les analyses statistiques de la base de données lavaka. Ce sont les indicateurs de position, les indicateurs de dispersion et les indices annonciateurs.

1. Les indicateurs de position ou tendance centrale

Les indicateurs de positions sont des valeurs dans la série statistique représentant des points sur l'axe des abscisses de sa courbe des répartitions.

1.1. Le mode

Le mode (variable discontinue) ou classe modale (variable continue) est la valeur d'une série statistique pour laquelle est observée la plus grande fréquence. Il s'agit donc d'identifier cette valeur à partir d'un tableau ou d'un graphique pour déterminer le mode.

1.2. La médiane

La médiane est la valeur de la variable qui partage la série de donnée en deux(2) parties égales. Autrement dit, c'est la valeur statistique où on observe exactement que 50 % des données lui sont inférieures et que les 50 % restante sont supérieures à celle-ci.

1.3. Le quartile

Le quartile est constitué des 3 valeurs qui partagent une série qui est rangé dans un ordre croissant, en quatre sous ensemble égaux. On les identifiés par les lettres Q_1 ; Q_2 ; Q_3 dont :

- Q_2 qui est l'expression de la médiane
- Q_1 la valeur exacte de la variable telle que $25\% < Q_1 < 75\%$ de l'effectif totale de la série
- Q_3 la valeur exacte de la variable telle que $75\% < Q_3 < 25\%$ de l'effectif totale de la série

1.4. La moyenne

C'est le somme des variables x_i divisé par le nombre n des variables. La moyenne arithmétique est définie par la formule générale suivante :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

2. Les indicateurs de dispersion

Il arrive souvent que deux(2) séries statistiques ayant des caractéristiques de position identiques pourraient être fort différentes. Il faut donc, pour différencier statistiquement ces deux séries de définir des caractéristiques de dispersion qui seront destinées à mettre en relief l'écart existant entre deux valeurs ou entre les valeurs du caractère et une valeur caractéristique centrale.

2.1. L'étendue

L'étendue (e) d'une série statistique est la différence entre la plus grande valeur et la plus petite valeur de la série. Si X_M est la plus grande valeur et X_m la plus petite valeur alors on peut calculer :

$$e = X_M - x_m$$

2.2. L'intervalle interquartile

L'intervalle interquartile d'une série statistique est égal à la différence :

$$Q_3 - Q_1$$

Q_3 et Q_1 étant les quartiles et leur obtention ont été déjà énumérée dans le paragraphe du quartile. On peut aussi avoir l'intervalle interquartile relatif avec la formule :

$$\frac{Q_3 - Q_1}{Q_2}$$

Q_2 étant la médiane de la série.

2.3. La variance

La variance d'une série statistique est la moyenne arithmétique des carrés des écarts :

$$(x_i - \bar{x})^2$$

On désigne la variance par la lettre V tel que sa formule générale :

$$V = \frac{\sum [(x_i - \bar{x})^2]}{\sum n_i}$$

$\sum n_i$ est la somme des nombres d'individu = N

x_i : les variables

\bar{x} : la moyenne arithmétique de la série

2.4. L'écart-type

On appelle écart type (σ) d'une série statistique la racine carré de sa variance :

$$\sigma = \sqrt{V}$$

Où V est la variance de la série.

3. Indices annonciateurs

Afin d'anticiper les événements et pour nous conduire à certaines prises de décision, il est préférable de déterminer des indices annonciateurs des éventuels évolutions de l'érosion en lavaka. Le procédé consiste à rechercher des liaisons entre les différents phénomènes (composants de la base de données lavaka) qui conduisent à cette érosion puis de les quantifier.

On appelle la corrélation les résultats de cette recherche de liaison, son obtention se déroule en 3 étapes, la détermination :

- des nuages de points
- des droites de régression
- du coefficient de corrélation

3.1. Les nuages de points

Il s'agit des représentations graphiques des différents couples de deux caractères (2 variables). Ils permettent de visualiser globalement leur lien de dépendance statistique. Ce dernier, quand il existe, peut être linéaire (positive ou négative) ou pas. Pour notre étude, on ne prendra en compte que la dépendance linéaire.

Voici quelques exemples de graphiques de nuage de point :

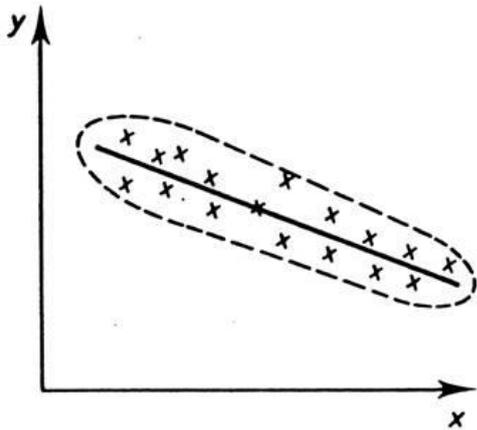


Figure 45: Dépendance linéaire forte

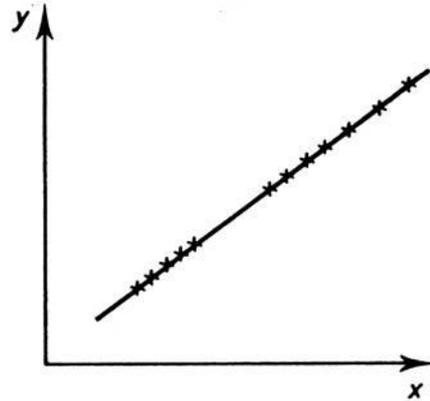


Figure 46: Dépendance linéaire parfaite

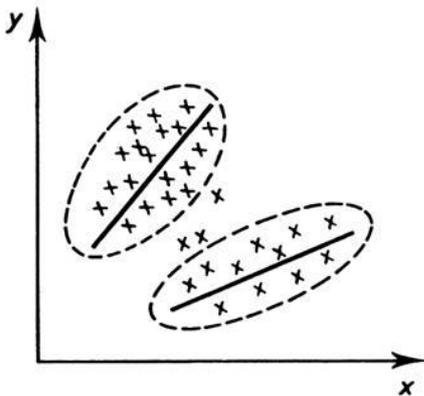


Figure 47: Dépendance linéaire double

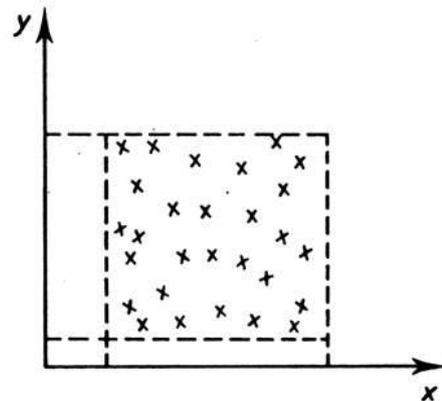


Figure 48: Indépendance

3.2. Les droites de régression

Dans le cas de séries à deux variables (x et y), il est possible de considérer successivement chaque variable comme variable expliquée, puis comme variable explicative. Dans ces conditions, nous pourrions calculer deux droites de régression.

- La droite de régression de « y » en « x » d'équation $D : y = ax + b$, permettant de déterminer « y » connaissant « x ».
- La droite de régression de « x » en « y » d'équation $D' : x = a'y + b'$ permettant de déterminer « x » connaissant « y ».

Le choix des variables se fait alternativement et la détermination de ces deux droites se fait comme suit (méthode des moindres carrés) :

$$a = \frac{\sum(X_i Y_i)}{\sum X_i^2}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

$$a' = \frac{\sum(Y_i X_i)}{\sum Y_i^2}$$

$$b' = \bar{y} - a'\bar{x}$$

Avec : $X_i = x_i - \bar{x}$

$$Y_i = y_i - \bar{y}$$

Les points (\bar{x}, \bar{y}) sont les points moyens du nuage de point ou tout simplement la moyenne de la série ; a et a' sont les pentes des deux(2) droites de régression et (X_i, Y_i) les variables dans la série.

3.3. Le coefficient de corrélation

Le coefficient de corrélation « r » est un indicateur de dépendance qui indique le degré de rapprochement de deux droites de régression. C'est un nombre sans dimension compris entre 0 et ± 1 tel que si sa valeur est positive, les 2 variables évoluent dans le même sens et le contraire si elle est négative. Il se définit comme étant égal à la racine carrée du produit de la pente de a et a' des deux(2) droites de régression.

$$r^2 = a \cdot a'$$

$$r = \sqrt{a \cdot a'}$$

$$r = \frac{\sum X_i Y_i}{\sqrt{\sum X_i^2 \sum Y_i^2}}$$

Comme interprétation, on peut généraliser qu'entre les deux (2) phénomènes ou variable considérés :

- il y a une dépendance si $|\mathbf{r}| > 0,8$
- il y a une dépendance faible ou moyenne selon les valeurs si $0,3 < |\mathbf{r}| < 0,8$
- il n'y a pas une dépendance si $|\mathbf{r}| < 0,3$

ANNEXE 4 : LOI NORMALE

- Les tests de normalité :

- Il existe d'abord les techniques empiriques et les méthodes graphiques comme l'histogramme des fréquences, la boîte à moustache, coefficient d'asymétrie et d'aplatissement ou encore la droite de Henry. La compréhension de ces techniques passe systématiquement par la connaissance de statistiques descriptives. Ces méthodes sont commodes mais elles donnent seulement une image globale de la normalité.

- Il existe aussi les tests qui sont des techniques statistiques précis sur la normalité ou non d'une distribution comme le test de Kolmogorov-Smirnov. C'est un test d'ajustement qui est basé sur la fonction de répartition, l'idée est que la fonction de répartition empirique F' de l'échantillon doit être proche de F qui est une loi théorique.

On pose comme hypothèse nulle H_0 ce rapprochement entre les deux fonctions de répartition et l'hypothèse alternative H_a la différence entre ces fonctions :

- $H_0 : F' = F$  suit une loi normale
- $H_a : F' \neq F$  ne suit pas une loi normale

A tout test est associé un risque α dit de première espèce (p-value), il s'agit de la probabilité de rejeter l'hypothèse de normalité alors qu'elle est vraie. Plus la valeur de α diminue, plus la probabilité de rejeter l'hypothèse nulle est élevée. Dans tous nos travaux, nous avons pris le risque $\alpha = 5\%$, c'est-à-dire qu'avec une p-value inférieure à 0,05 on rejette l'hypothèse H_0 .

- Transformation et approximation des données :

Selon Borcard D. (1998), les méthodes de transformation des données se divisent en trois familles :

- ✓ la standardisation ou l'action de centrer-réduire les données pour diminuer l'échelle de dispersion tout en conservant leur forme de distribution,
- ✓ la transformation en vecteur de rangs dont l'objectif est de se concentrer sur l'ordre des valeurs des données et moins sur les valeurs des données elles-mêmes,
- ✓ la normalisation des données qui consistent à rechercher la transformation adaptée à travers laquelle elles suivront directement une loi normale.

- Acquisitions des valeurs normales, calcul des rangs fractionnaires :

Voici les liens des sites où on a obtenu les démarches : <http://aisel.aisnet.org/cais/vol28/iss1/4> ;

<https://www.youtube.com/watch?v=twWT6FgwIAo>

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	i
SOMMAIRE.....	ii
GLOSSAIRE.....	iv
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES.....	v
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES EQUATIONS.....	vii
INTRODUCTION.....	1
PARTIE 1: GENERALITES.....	3
CHAPITRE I : PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D’ETUDE.....	4
I.1. LA REGION ALAOTRA-MANGORO.....	5
I.1.1. Population.....	5
I.1.2. Croissance démographique.....	6
I.2. LA REGION BETSIBOKA.....	6
I.3. MILIEU NATUREL DE LA ZONE D’ETUDE.....	7
I.3.1. Géomorphologie.....	7
I.3.2. Climat.....	9
I.3.3. Pluviométrie.....	9
I.3.4. Hydrologie.....	9
I.3.5. Pédologie.....	11
I.3.6. Profil Agro-Ecologique.....	13
I.3.7. Occupation du sol.....	13
I.4. MILIEU HUMAIN (EFFET ANTHROPIQUE).....	15
I.5. CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURALE.....	15
I.5.1. Géologie cristalline de Madagascar.....	15

I.5.2.	Géologie structurale de Madagascar	16
I.5.3.	Contexte Géologique et structurale de la zone d'étude.....	18
CHAPITRE II : LES LAVAKA		21
II.1.	NOTION D'EROSION.....	21
II.2.	DESCRIPTION DES LAVAKA.....	21
II.3.	ORIGINES, FACTEURS ET EVOLUTIONS.....	23
II.3.1.	Origines.....	23
II.3.2.	Les facteurs de formation d'un lavaka	23
II.3.3.	Evolutions d'un lavaka.....	24
PARTIE 2 : METHODOLOGIE		25
CHAPITRE III : CARATERISATION DES LAVAKA		26
III.1.	ANALYSE STATISTIQUE	27
III.1.1.	Loi normale	27
III.1.2.	Probabilité d'apparition d'un lavaka selon des variables quantitatives	28
III.1.3.	Les approximations et transformations.....	29
III.1.4.	Calcul des intervalles des zones à risques.....	29
III.1.5.	Régression linéaire.....	30
III.2.	ELABORATION DES CARTES.....	30
III.2.1.	Carte géologique et structurale	30
III.2.2.	Carte pédologique.....	31
III.2.3.	Carte d'occupation du sol	31
III.2.4.	Les reliefs.....	31
•	Carte des réseaux hydrographiques	31
•	Carte des pentes	32
•	Carte des courbures.....	32
III.3.	NUMERISATION DES LAVAKA	32
III.4.	ELABORATION DE LA BASE DE DONNEES LAVAKA	33

PARTIE 3 : RESULTATS	35
CHAPITRE IV : LES CARTES ELABOREES	36
IV.1. LES CARTES DERIVEES DES DONNEES MNT	36
IV.1.1. Carte des pentes	36
IV.1.2. Carte des courbures	38
IV.2. LES LAVAKA DE LA ZONE D'ETUDE	40
IV.2.1. Carte des lavaka	40
IV.2.2. Caractéristiques des lavaka de la zone d'étude	41
CHAPITRE V : ANALYSES STATISTIQUES	43
V.1. ANALYSE STATISTIQUE DES VARIABLES QUANTITATIVES	43
V.1.1. Distribution des lavaka selon les altitudes	43
V.1.2. Distribution des lavaka selon les pentes	45
V.1.3. Distribution des lavaka selon les courbures	47
V.1.4. Distribution des lavaka selon les distances par rapport aux zones habitées	49
V.1.5. Distribution des lavaka selon la distance par rapport aux cours d'eau	50
V.1.6. Distribution des lavaka selon les structures tectoniques	52
V.2. ETABLISSEMENT DES ZONES FAVORABLE A LA FORMATION DES LAVAKA SELON LES VARIABLES QUANTITATIVES	55
V.2.1. Pour les altitudes	55
V.2.2. Pour les pentes	57
V.2.3. Pour les courbures	59
V.2.4. Pour la distance par rapport aux zones habitées	61
V.2.5. Pour la distance par rapport aux cours d'eau	63
V.2.6. Pour la distance par rapport aux structures tectoniques	65
V.3. REGRESSION LINEAIRE	67
V.3.1. Régression linéaire entre altitude et les autres facteurs	67
V.3.2. Régression linéaire entre pente et les autres facteurs	67

V.3.3.	Régression linéaire entre courbure et les autres facteurs	68
V.3.4.	Régression linéaire entre distance par rapport aux distance par rapport aux cours d'eau et les autres facteurs	68
V.3.5.	Régression linéaire entre distance par rapport aux zones habitées et les autres facteurs	69
V.3.6.	Régression linéaires entre distance par rapport aux structures tectoniques et les autres facteurs	69
V.4.	OCCURRENCE D'UN LAVAKA.....	70
V.5.	VARIABLE QUALITATIVE	73
V.5.1.	Classification des lavaka selon la pédologie	73
V.5.2.	Classification des lavaka selon l'occupation du sol	73
V.5.3.	Classification des lavaka selon la lithologie.....	74
PARTIE 4 : DISCUSSION ET PROPOSITION DE STABILISATION.....		75
CHAPITRE VI : INTERPRETATION.....		76
VI.1.	Sur les variables quantitatives	76
1.	<i>Régression linéaire entre altitude et les autres facteurs.....</i>	<i>79</i>
2.	<i>Régression linéaire entre pente et les autres facteurs</i>	<i>79</i>
3.	<i>Régression linéaire entre courbure et les autres facteurs</i>	<i>79</i>
4.	<i>Régression linéaire entre distance par rapport aux distance par rapport aux cours d'eau et les autres facteurs.....</i>	<i>79</i>
5.	<i>Régression linéaire entre distance par rapport aux zones habitées et les autres facteurs</i>	<i>80</i>
6.	<i>Régression linéaires entre distance par rapport aux structures tectoniques et les autres facteurs</i>	<i>80</i>
VI.2.	Selon la pédologie	81
VI.3.	Selon la lithologie	82
VI.4.	Selon l'occupation du sol	82

CHAPITRE VII : PROPOSITION DE STABILISATION	84
VII.1. Profil de restauration.....	84
VII.2. Les avantages des profils de restauration.....	89
VII.3. Les inconvénients	89
CONCLUSION GENERALE	90
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	92
ANNEXES.....	A
ANNEXE 1 : LES OUTILS D'INVESTIGATIONS.....	A
1. GENERALITE SUR LE SIG.....	A
1.1. Composants d'un SIG	A
1.2. Système de coordonnées dans un SIG.....	A
- Le référentiel malagasy (Projection Gauss Laborde)	B
2. LES LOGICIELS UTILISES	B
2.1. Google Earth	B
2.2. IBM SPSS Statistics 20.....	C
2.3. ArcGIS 10.1.....	C
ANNEXE 2 : ELABORATION DES DIFFERENTES CARTES.....	D
ANNEXE 3 : RAPPEL SUR LES INDICATEURS STATISTIQUES.....	G
1. Les indicateurs de position ou tendance centrale	G
2. Les indicateurs de dispersion.....	H
3. Indices annonciateurs.....	I
ANNEXE 4 : LOI NORMALE	L
TABLE DES MATIERES.....	viii

Auteur : MAMINIRAINY Tanjona Armando

Contact : 034 87 241 11/ tanjonamaminirainy@gmail.com

Titre : « APPROCHE STATISTIQUE DES FACTEURS DE FORMATION ET
D'EVOLUTION DE L'EROSION EN LAVAKA » ZONE ALAOTRA.

Nombre de pages : 94

Nombre de figure : 44

Nombre de tableau : 31

RESUME

La connaissance des causes exactes de la formation des lavaka qui est une forme d'érosion caractéristique et ravageur des hautes terres Malagasy fut l'objet de plusieurs études avec différentes types d'approches afin d'en établir des mesures de prévention. Ces études ont été limitées par l'insuffisance des données statistiques sur les lavaka.

Pour compléter ces données existantes, une approche statistique des facteurs considérés comme responsable de la formation des lavaka localiser dans la région d'Alaotra où ce type d'érosion est accentué, a donc été proposé dans notre étude afin de délimiter des zones à risques ou favorables à la formation des lavaka, de définir la probabilité d'apparition d'un lavaka selon les facteurs et enfin d'avoir une idée sur l'ordre de significativité de ces facteurs menant à la formation des lavaka. Ces résultats seront utilisés pour optimiser les mesures de prévention et de restauration des terrains en les établissant sur les zones considérés comme à risques.

Mots clés : lavaka, facteurs, statistiques, normale, probabilité, zone à risque, significativité

ABSTRACT

The knowledge of the exact causes of lavaka formation, which is a characteristic and devastating erosion form of the Malagasy highlands, has been the subject of several studies with different types of approaches in order to establish preventive measures. These studies were limited by the lack of statistical data on lavaka.

To complement these existing data, a statistical approach of the factors considered responsible for the formation of lavaka locate in the Alaotra region where this type of erosion is accentuated, was therefore proposed in our study to delineate areas at risk or favorable to the formation of lavaka, to define the probability of occurrence of a lavaka according to factors and finally to have an idea on the order of significance of these factors leading to the formation of lavaka. These results will be used to optimize land prevention and restoration measures by establishing them on areas considered to be at risk.

Keywords: lavaka, factors, statistics, normal, probability, risk area, significance