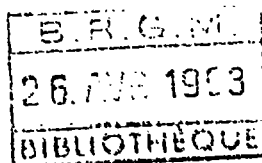




CONSEIL GENERAL DE LA GUADELOUPE

**apports des statistiques à l'analyse
d'une base de données cartographiques
numériques constituée dans le cadre
de l'étude de l'aléa mouvements de terrain**

**Par P. MOMPELAT
sous la direction scientifique
de O. SEDAN**



**Février 1993
R 36110 ANT 4S 92**

**BRGM - ANTILLES
MARTINIQUE**

km 0,9 route de Didier - B.P. 394 - 97258 Fort-de-France cedex
Tél.: 19 (596) 71.88.68 - Télécopieur : 19 (596) 63.30.46 - Télex : 912 354 MR

GUADELOUPE

Villa d'Huy - Morne Notre-Dame - 97139 Abymes
Tél.: 19 (590) 82.75.40 - Télécopieur : 19 (590) 91.51.66

**Apports des statistiques à l'analyse d'une base
de données cartographiques numériques constituée dans
le cadre de l'étude de l'aléa mouvements de terrain**

R 36110 ANT 4S 92

novembre 1992

RESUME

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une thèse de 3ème cycle effectuée au BRGM Antilles et financée par le Conseil Général de la Guadeloupe.

Elle consiste à valoriser une base de données sur une zone test d'extension limitée en Basse-Terre, constituée pour l'étude de l'aléa mouvements de terrain.

Les objectifs sont d'une part d'analyser les inter-relations entre les différents paramètres décrivant le milieu afin d'en déduire leur logique de répartition, et d'autre part de mettre en évidence des associations "cohérentes" de paramètres, constituant des unités cartographiques (ou "paysagères") homogènes.

La base de donnée a été constituée au sein du SIG ARC/INFO. Elle comprend des paramètres morphologiques calculés à partir du MNT de la Guadeloupe et rapportés à des unités cartographiques de versants (UCVs), elles-mêmes délimitées automatiquement à partir du MNT. Elle comprend en outre des cartes thématiques numérisées (géologie, végétation, pédologie...).

L'analyse de la base de données a été effectuée par analyses statistiques simples et multi-dimensionnelles. En langage statistiques les paramètres de la base données deviennent des variables qui peuvent être de nature continue (données morphologiques) ou nominales (données thématiques), ces dernières se décomposant en modalités.

L'analyse des relations entre variables a d'abord été effectuée en étudiant la répartition d'une variable par rapport à une autre. Ce type d'analyse doit se concevoir comme un outil simple mais insuffisant, permettant d'étudier ponctuellement et qualitativement les relations entre deux variables.

Les analyses statistiques multi-dimensionnelles offrent une vue synthétique et simultanée des relations en variables.

Une Analyse en Composante Principale suivie d'une classification automatique des données morphologiques, conduit à une typologie des versants, illustrée sur la zone test par une carte présentant 9 unités morphologiques homogènes.

Cette carte est ensuite associée aux cartes thématiques numérisées de la base de donnée et l'ensemble ainsi constitué fait l'objet d'une Analyse Factorielle des correspondances multiples.

Une carte d'unités cartographiques paysagères homogènes est élaborée selon cette démarche. Elle présente 7 grands ensembles au sein desquels des sous zones à morphologies particulières sont distinguées.

La délimitation d'unités homogènes est d'un grand intérêt en cartographie thématique ce qui souligne l'intérêt méthodologique de la démarche automatique et objective mise au point.

Quelques propositions pour l'utilisation des unités cartographiques homogènes dans le cadre de l'étude de l'aléa Mouvements de terrain sont discutées.

Par P. MOMPELAT
sous la direction scientifique
de O. SEDAN

TABLE DES MATIERES

RESUME

1 - INTRODUCTION	1
1.1 - Problématique	1
1.2 - Méthode	2
2 - LES DONNEES	5
2.1 - Situation géographique de la zone-test	5
2.2 - La base de données	5
2.2.1 - Introduction	5
2.2.2 - Les cartes thématiques	6
2.2.3 - Codage des cartes thématiques	7
2.2.4 - Les produits dérivés du Modèle Numérique de Terrain	7
2.2.5 - Codage des données UCVs	8
2.3 - Les données sources pour les analyses de statistiques	9
3 - ANALYSE DES RELATIONS ENTRE DEUX VARIABLES	11
3.1 - Introduction	11
3.2 - Analyse des relations entre deux variables nominales	11
3.2.1 - Format des données utilisées	11
3.2.2 - Exemple 1 : Analyse des relations entre végétation naturelle et pédologie à 1/20.000	12
3.2.3 - Exemple 2 : Analyse des relations entre altitude et pluie	14
3.2 - Analyse des relations entre deux variables continues	16
3.3.1 - Format des données utilisées	16
3.3.2 - Evolution de la pente moyenne en fonction de l'altitude moyenne des UCVs	16
3.3.3 - Evolution de l'écart type de la convexité verticale en fonction de la convexité verticale moyenne	16
3.3.4 - Evolution de l'écart type de la convexité verticale en fonction de la convexité verticale moyenne	17
3.4 - Conclusions	18

4 - ANALYSES STATISTIQUES MULTIDIMENSIONNELLES	19
4.1 - Outils informatiques	19
4.2 - Typologie des versants par Analyse en Composantes Principales	21
4.2.1 - Introduction.....	21
4.2.2 - Principe de l'Analyse en Composantes Principales.....	21
4.2.3 - Principe de la classification des données.....	22
4.2.3.1 - Présentation générale	22
4.2.3.2 - Première phase : méthode des centres mobiles	23
4.2.3.3 - Deuxième phase : classification hiérarchique ascendante.....	24
4.2.4 - Le tableau de données	24
4.2.5 - Analyse des données	25
4.2.6 - Classification des données.....	27
4.2.6.1 - Introduction	27
4.2.6.2 - Coupure de l'arbre d'agrégation - choix de la partition à décrire	28
4.2.6.3 - Description de l'ensemble 1.....	29
4.2.6.4 - Description de l'ensemble 2.....	31
4.2.6.5 - Description de l'ensemble 3.....	31
4.2.6.6 - Description de l'ensemble 4.....	32
4.2.6.7 - Représentation des classes sur la zone d'étude	33
4.2.7 - Conclusions.....	34
4.3 - Analyse des Correspondances Multiples sur l'ensemble des variables de la base de données.....	38
4.3.1 - Introduction.....	38
4.3.2 - Principe de l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples	38
4.3.2.1 - Présentation de la méthode.....	38
4.3.2.2 - Représentations graphiques et interprétation des données	40
4.3.3 - Méthode de classification utilisée	42
4.3.4 - Le tableau de données	42
4.3.5 - Analyse des données de la zone-test	43
4.3.5.1 - Introduction	43
4.3.5.2 - Première itération : Analyse préliminaire.....	44
4.3.5.3 - Bilan de la première itération	46

4.3.5.4 - Deuxième itération : Analyse complète.....	46
4.3.5.5 - Interprétation des axes factoriels.....	47
4.3.5.6 - Analyse des plans factoriels principaux.....	55
4.3.5.7 - Bilan de la description des axes.....	56
4.3.6 - Classification automatique des données.....	42
4.3.6.1 - Constitution d'un arbre d'agrégation hiérarchique.....	58
4.3.6.2 - Coupure de l'arbre : choix de la partition à décrire	59
4.3.6.3 - Description des classes.....	59
4.3.6.4 - Visualisation des classes sur la zone d'étude.....	66
4.3.6.4.1 - Partition en 7 classes.....	66
4.3.6.4.2 - Partition en 10 classes	67
4.3.7 - Conclusions.....	69
4.4 - Comparaisons entre données morphologiques et pluri-thématiques	71
4.4.1 - Introduction.....	71
4.4.2 - AFC et classification des données morphologiques	72
4.4.3 - AFC et classification des données thématiques seules	73
4.4.4 - Comparaison des classifications obtenues par ACP des données morphologiques et AFC des données thématiques.....	73
4.4.5 - Proposition pour une démarche optimale permettant la délimitation d'unités cartographiques homogènes.....	74
5 - CONCLUSION.....	76
5.1 - Rappel du cadre de l'étude et des principaux objectifs	76
5.2 - Synthèse des résultats.....	76
5.3 - Perspectives pour l'étude de l'aléa mouvements de terrain.....	78

LISTE DES FIGURES DANS LE TEXTE

- Figure 1 : Situation géographique de la zone test (1/100.000)
- Figure 2 : Carte lithologique simplifiée de la zone test tirée de la carte géologique de la Basse-Terre
- Figure 3 : Carte des sols de la zone test tirée de la carte pédologique de la Guadeloupe à 1/150.000
- Figure 4 : Carte des sols de la zone test tirée de la carte des sols de la Basse-Terre à 1/150.000
- Figure 5 : Carte de la végétation de la zone test tirée de la carte de la végétation de la Guadeloupe à 1/150.000
- Figure 6 : Carte de la pluviométrie moyenne inter-annuelle de la zone test
- Figure 7 : Codage des données sur une carte théorique
- Figure 8 : Exemple de partition d'un MNT en UCVs
- Figure 9 : Schéma explicatif de l'élaboration des cartes morphologiques de versants
- Figure 10 : Carte des altitudes moyennes par UCV sur la zone test
- Figure 11 : Carte des convexités verticales moyennes par UCV sur la zone test
- Figure 12 : Carte des écarts types des convexités verticales moyennes par UCV sur la zone test
- Figure 13 : Carte des convexités horizontales moyennes par UCV sur la zone test
- Figure 14 : Carte des écarts types des convexités horizontales par UCV sur la zone test
- Figure 15 : Carte des pentes moyennes par UCV sur la zone test
- Figure 16 : Carte des écarts types des pentes par UCV sur la zone test
- Figure 17 : Carte des indices de Beven moyens par UCV sur la zone test
- Figure 18 : Carte des convexités verticales globales par UCV sur la zone test
- Figure 19 : Carte des unités cartographiques pluri-thématiques (UCPs)
- Figure 20 : Courbes de répartition des types pédologiques par classes de végétation
- Figure 21 : Courbes de répartition des classes de végétation par types de sols
- Figure 22 : Courbes de répartition de la pluviométrie par classes d'altitude
- Figure 23 : Courbes de répartition des classes d'altitude par classes pluviométriques
- Figure 24 : Courbes de répartition des classes pluviométriques (réduites à 5) par classes d'altitude
- Figure 25 : Courbes de répartition des classes d'altitudes par classes pluviométriques (réduites à 5)
- Figure 26 : Evolution de la pente moyenne en fonction de l'altitude moyenne de UCVs
- Figure 27 : Evolution de l'écart type de la convexité verticale en fonction de la convexité verticale moyenne des UCVs
- Figure 28 : Evolution de la convexité horizontale moyenne en fonction de de la convexité verticale moyenne des UCVs
- Figure 29 : Exemple de conversion d'un fichier quelconque du format DBF en format libre et création du dictionnaire associé

- Figure 30 : Exemple d'un arbre d'agrégation hiérarchique à partir d'une partition initiale en 7 classes
- Figure 31 : Cercle des corrélations issu de l'ACP effectuée sur les données UCVs
- Figure 32 : Représentation des individus sur le plan factoriel principal de l'ACP effectuée sur les données UCVs
- Figure 33 : Schéma descriptif de la démarche permettant d'afficher sous ARC/INFO les résultats obtenus par ACP et classification
- Figure 34 : Représentation sur la zone test de quelques versants atypiques identifiés par leurs deux premières coordonnées factorielles
- Figure 35 : Arbre d'agrégation hiérarchique (données UCVs)
- Figure 36 : Représentation des individus et de la partition en 9 classes sur le plan factoriel principal de l'ACP effectuée sur les données UCVs
- Figure 37 : Représentation des résultats de la classification des données UCVs sur la zone test (1/100.000)
- Figure 38 : Visualisation de quelques extraits de classes déterminées par ACP sur le fond IGN n° 4605 G à 1/25.000 de la Guadeloupe
- Figure 39 : Représentation schématique de 4 cas de contributions absolues
- Figure 40 : Représentation schématique de 2 cas de contributions relatives
- Figure 41 : Histogramme des 20 premières valeurs propres de l'AFC effectuée à la seconde itération
- Figure 42 : Représentation des modalités sur le plan factoriel principal (AFC - seconde itération)
- Figure 43 : Orientation de quelques variables "ordonnées" dans le plan factoriel principal (AFC - seconde itération)
- Figure 44 : Représentation des modalités sur le plan factoriel 1-3 (AFC - seconde itération)
- Figure 45 : Représentation des modalités sur le plan factoriel 2-4 (AFC - seconde itération)
- Figure 46 : Représentation des modalités sur le plan factoriel 2-3 (AFC - seconde itération)
- Figure 47 : Classification des données UCPs. Arbre d'agrégation hiérarchique
- Figure 48 : Fréquences des modalités par classes (partition en 7 classes de l'ensemble des données UCPs)
- Figure 49 : Résultat cartographique d'une partition en 7 classes de la zone test (classification de l'ensemble des données UCPs)
- Figure 50 : Résultat cartographique d'une partition en 10 classes de la zone test (classification de l'ensemble des données UCPs)
- Figure 51 : Représentation de 3 extraits de sous-ensembles au sein des classes aa2a, aa3a et aa7a
- Figure 52 : Résultat cartographique d'une partition en 7 classes de la zone test (classification de l'ensemble des données morphologiques associées à la carte des UCPs)
- Figure 53 : Résultat cartographique d'une partition en 7 classes de la zone test (classification de l'ensemble des données thématiques associées à la carte des UCPs)

Figure 54 : Résultat cartographique d'une partition en 7 classes de la zone test (classification de l'ensemble des données thématiques et de l'altitude associées à la carte des UCPs)

Figure 55 : Description de la démarche optimale permettant de délimiter des unités cartographiques paysagères homogènes

Figure 56 : Résultat cartographique d'une partition en 7 classes de la zone test intégrant les données morphologiques et l'altitude par ACP et les données thématiques par AFC

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Table associée à la carte de la pluviométrie moyenne inter-annuelle

Tableau 2 : Extrait de la table associée à la carte des UCVs

Tableau 3 : Extrait de la table associée à la carte des UCPs

Tableau 4 : Description des variables associées à la carte des UCPs

Tableau 5 : Tableau de contingence entre 2 variables quelconques

Tableau 6 : Tableaux de contingence et de fréquence des variables PEDO20 et VEGETATION

Tableau 7 : Tableaux de contingence et de fréquence des variables PLUIE et ALTITUDE

Tableau 8 : Tableaux de fréquence de la variable ALTITUDE et de la variable PLUIE réduite à 5 modalités

Tableau 9 : Statistiques sommaires sur les variables continues associées à la carte des UCVs

Tableau 10 : Matrice des corrélations issue de l'ACP sur les données UCVs

Tableau 11 : Histogramme des valeurs propres de l'ACP sur les données UCVs

Tableau 12 : Description de l'arbre d'agrégation hiérarchique (12-a) et des partitions (12-b) obtenus par classification des données UCVs

Tableau 13 : Valeurs minimales, maximales et moyennes par classe de l'ensemble des variables issues des données UCVs

Tableau 14 : Extrait du fichier en format libre associé aux données UCPs

Tableau 15 : Contributions absolues des variables sur les 5 premiers axes factoriels (AFC - première itération)

Tableau 16 : Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de l'axe 1

Tableau 17 : Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de l'axe 2

Tableau 18 : Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de l'axe 3

Tableau 19 : Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de l'axe 4

Tableau 20 : Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de l'axe 5

Tableau 21 : Description des classes de la partition initiale

Tableau 22 : Description des noeuds de l'arbre d'agrégation hiérarchique

Tableau 23 : Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aa1a

Tableau 24 : Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aa2a

Tableau 25 : Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aa3a

Tableau 26 : Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aa4a

Tableau 27 : Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aa5a

Tableau 28 : Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aa6a

Tableau 29 : Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aa7a

Tableau 30 : Synthèse des différentes analyses multi-variées effectuées sur la base de données de la zone test

Tableau 31 : Croisement des classes d'unités morphologiques homogènes issues de l'AFC des données UCPs et de l'ACP des données UCVs - fréquences en colonnes

Tableau 32 : Croisement des classes d'unités morphologiques homogènes issues de l'ACP des données UCVs et de l'AFC des données thématiques rapportées au UCPs - fréquences en colonnes

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Principes de calcul des paramètres morphologiques à partir du Module Numérique de Terrain

Annexe 2 : Programme SPAD.N réalisant l'Analyse en Composantes Principales et la Classification des données issues de la carte des UCVs

Annexe 3 : Description des classes issues de l'ACP

Annexe 4 : Dictionnaire décrivant les données utilisées pour l'AFC

Annexe 5 : Coordonnées, contributions absolues et relatives des 5 premiers axes factoriels de l'AFC préliminaire

Annexe 6 : Programme SPAD.N - AFC (seconde itération) et classification des variables nominales issues de la carte des UCPs

Annexe 7 : Coordonnées, contributions absolues et relatives des 5 premiers axes de l'AFC effectuée à la seconde itération

1 - INTRODUCTION

1.1 - Problématique

L'étude de la problématique de la cartographie de l'aléa mouvements de terrain à l'échelle du 1/50.000 en Guadeloupe comprend l'analyse comparée de plusieurs méthodes de zonage.

Ces méthodes consistent pour la plupart à combiner de façon plus ou moins complexe, un nombre varié de paramètres caractérisant le milieu physique, afin d'en déduire en un point donné, la propension à l'instabilité. L'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) permet aujourd'hui d'effectuer aisément ces combinaisons à partir d'une base de données cartographiques numériques. Celle-ci peut être obtenue en numérisant diverses cartes thématiques, en intégrant des images satellitaires, des Modèles Numériques de Terrain ainsi que leurs produits dérivés (Van Westen, 1992).

Les paramètres décrivant le milieu, peuvent dans une certaine mesure se déduire les uns des autres. Par exemple, l'altitude et la pluviométrie, la végétation et l'altitude, la lithologie et la pente, la végétation et la lithologie sont interdépendants.

Effectuer des combinaisons qui ne tiennent pas compte de ces inter-relations, en affectant aux paramètres un poids identique ou choisi subjectivement, peut entraîner un biais dans l'évaluation de la sensibilité d'une zone aux mouvements de terrain.

Avant de tester et de comparer différentes méthodes de zonage, il nous a paru intéressant de décrire les relations entre les différents paramètres caractérisant le milieu, afin de mieux apprécier leur logique de répartition sur le territoire.

Cette description est effectuée par analyses statistiques simples (comparaison de 2 facteurs) et multidimensionnelles (Analyse en Composantes Principales, Analyse Factorielle des correspondances multiples) à partir d'une base de données cartographiques numériques incluant le maximum de cartes thématiques disponibles.

Une telle démarche, outre l'intérêt méthodologique offert, permettra in fine une meilleure analyse des différentes méthodes de cartographie de l'aléa mouvements de terrain, en fonction des paramètres qu'elles combinent.

D'autres méthodes de zonage procèdent par analogie. Basées sur le principe de la similarité des événements (mêmes causes, mêmes effets), elles consistent à analyser pour chaque paramètre pris en compte, la répartition des mouvements de terrain. Le rôle d'un paramètre donné est dans ce cas perçu indépendamment des autres.

L'analyse statistique multidimensionnelle associée à une classification permet de mettre en évidence des associations "cohérentes" de paramètres constituant des unités cartographiques homogènes. Une telle démarche constitue donc une méthode objective de description du territoire en unités de "paysage".

Il est alors possible d'analyser, non pas les relations entre un phénomène d'instabilité particulier avec tel ou tel autre paramètre pris de manière isolé, mais celles pouvant exister avec différentes associations de paramètres.

Un autre intérêt de l'analyse statistique multidimensionnelle des éléments constitutifs d'une base donnée cartographique réside dans l'évaluation de la qualité de la base elle-même. Dans un souci d'objectivité, la base de données est constituée avec toutes les cartes disponibles. Etant donné les difficultés inhérentes à une telle opération (temps importants de digitalisation des cartes, traitements informatiques lourds), celle-ci n'est réalisée que sur une zone d'extension limitée.

L'analyse des données correspondant à cette zone, permet par exemple de comparer 2 cartes d'origines et/ou d'échelles différentes correspondant néanmoins au même paramètre.

Elle permet également de mettre en évidence des paramètres redondants ou ceux qui sont peu discriminants (répartition uniforme sur la zone).

Au terme de cette analyse les paramètres jugés les moins utiles seront identifiés. Seul les paramètres restants feront alors l'objet d'une prise en compte sur l'ensemble du territoire étudié.

1.2 - Méthodologie

Une zone-test d'extension limitée a été choisie afin de procéder dans un premier temps à une évaluation des problèmes liés à la constitution d'une base de données cartographiques numériques (inventaire des données disponibles, traitements préalables des données issues du MNT, temps de numérisation, mise en forme des données sous SIG).

Au sein de cette base de données numérique chaque carte se présente comme un ensemble de polygones présentant chacun, un numéro d'identification et un ou plusieurs attributs correspondant à la nature du (ou des) paramètre(s) représenté(s).

Toutes les cartes sont ensuite superposées "numériquement" afin d'obtenir une représentation unique de l'ensemble de la base, où les polygones résultants après superposition, sont représentés chacun par un nouveau numéro d'identification, et un ensemble d'attributs constitué des paramètres correspondant à chacune des cartes initiales. On peut donc extraire de cette carte résultante, un tableau de données à deux entrées avec en colonnes la dénomination des paramètres et en lignes le numéro d'identification des polygones.

C'est ce tableau de données qui servira de base aux analyses statistiques envisagées. On y distingue deux ensembles, les individus statistiques (lignes du tableau) et les caractères relatifs à ces individus.

Un parallèle peut être fait avec les données issues d'enquêtes d'opinion avec en lignes les individus sondés et en colonnes les réponses aux questions posées.

En langage statistique on parle d'individus et de variables (ou caractères), ces dernières correspondant aux différents paramètres pris en compte dans la base de données (géologie, végétation, altitude...). On distingue 2 types de variables :

- les variables nominales ou qualitatives qui se décomposent en un certain nombre de modalités non numériques. Par exemple, la géologie (coulées de lave, brèches, alluvions, lahars...) ou la végétation (forêt hydrophile, forêt xérophile, savanes d'altitude...) ;
- les variables continues ou quantitatives dont les valeurs sont prises sur une échelle numérique. Il s'agit par exemple de l'altitude, de la pente.

Notons qu'une variable continue peut être transformée en variable nominale par discrétisation, les modalités correspondant dans ce cas à différentes classes de valeurs.

Les différents types d'analyses statistiques envisagés sont les suivants :

- comparaison de 2 variables, par analyses statistiques bidimensionnelles simples : représentations visuelles permettant d'évaluer rapidement et qualitativement les relations entre deux variables ;
- Analyse en Composantes Principales (ACP), permettant de décrire plusieurs variables. Il s'agit d'une méthode d'analyse factorielle car elle consiste à réduire le nombre de variables par la construction de nouvelles variables (ou facteurs) synthétiques obtenues en combinant les variables initiales.

Cette réduction n'est possible que si les variables initiales ne sont pas indépendantes et ont des coefficients de corrélation non nuls (Bouroche et Saporta, 1987 ; Bourroche et Bertier, 1975). L'ACP permet des représentations géométriques à la fois des individus et des variables et se distingue d'autres méthodes d'analyse factorielle, par le fait qu'elle ne s'applique qu'aux variables continues ;

■ l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC), comme son nom l'indique est également une méthode factorielle. Conçue pour l'analyse des tableaux de contingence (croisement de deux variables nominales) elle a été ensuite étendue à un nombre quelconque de variables. On parle plus précisément dans ce cas d'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples. Un des grands intérêts de cette méthode est qu'elle permet d'analyser conjointement des variables nominales et continues, après toutefois que ces dernières aient été discrétisées. Etant donné le caractère à la fois continu et nominal des variables que nous étudions, l'analyse des correspondances multiples paraît être l'outil privilégié permettant de décrire nos données ;

■ la classification : elle s'applique aux résultats de l'ACP ou de l'AFC. Elle consiste à regrouper les individus ou les variables en un nombre restreint de classes homogènes. Les éléments constitutifs d'une classe doivent avoir des caractéristiques à la fois les plus proches possible et différentes de celles des autres classes. On parle ici de classification automatique basée sur des algorithmes formalisés et non de méthodes visuelles, souvent subjectives, basées sur l'interprétation de représentations graphiques des données.

2 - LES DONNEES

2.1 - Situation géographique de la zone test

La zone-test recoupe l'île de Basse-Terre d'est en ouest le long de la D23 (fig. 1). Large de 4,5 km environ, elle couvre une surface de 97 km² et est limitée par les latitudes 16°10'N et 16°12'N et les longitudes 61°35' W et 61°47' W. Elle s'étend du bourg de la commune de Petit-Bourg à l'est et comprend le massif des Mamelles vers l'ouest.

Le choix d'une telle situation géographique n'est pas fortuit :

- la commune de Petit-Bourg qui est largement couverte par la zone-test fait l'objet d'une étude de microzonage des aléas naturels (étude de la conurbation ouest de Pointe-à-Pitre) ;
- deux études BRGM de cartographie des mouvements de terrain ont été réalisées dans la zone de Vernou/Hauteurs Lézardes (Atlan et Dagain, 1985) et sur le bassin de la ravine de Onze-Heures (Mompelat et Sedan, 1991) ;
- certains phénomènes d'instabilité y sont connus : glissements de Morne-Bourg (Terrier, 1992), des Mamelles, de Morne à Louis, de la Pointe à Baccus, de Vernou... ;
- l'accessibilité des zones montagneuses très boisées est facilitée par la "route des Mamelles" (D23), les zones urbanisées de Petit-Bourg et les nombreuses routes et "traces" (sentiers forestiers), ce qui est indispensable pour les reconnaissances de terrain ;
- la zone recoupe l'île de la Basse-Terre d'est en ouest, ce qui permet d'avoir des conditions lithologiques, morphologiques, pluviométriques et de végétation très diversifiées, qu'on peut donc considérer comme étant globalement représentatives de toute l'île.

2.2 - La base de données

2.2.1 - Introduction

Nous ne détaillerons pas ici, les différentes étapes ayant conduit à la constitution de la base ainsi qu'à l'évaluation des cartes vis-à-vis de la réalité de terrain. La description de ces opérations fait l'objet d'un rapport séparé (Mompelat et Sedan, 1993).

Nous nous limiterons ici à une énumération et une description sommaire des éléments constitutifs de la base de données qui ont été obtenus par

numérisation des cartes thématiques disponibles et par traitements du Modèle Numérique de Terrain.

L'ensemble de ces opérations a été effectué en utilisant le logiciel ARC/INFO.

2.2.2 - Les cartes thématiques

La numérisation consiste à digitaliser les contours des différentes unités cartographiques de chaque carte thématique et à leur affecter un code ou attribut permettant d'identifier leur nature.

Par traitement informatique sous ARC/INFO, à chaque unité est affecté un code d'identification supplémentaire de nature séquentielle. Ce code permet de distinguer 2 unités cartographiques distinctes mais de même nature. La surface de chaque unité est également déterminée.

Dans un souci d'objectivité, vis-à-vis en particulier de la problématique mouvements de terrain, toutes les cartes ont été numérisées de manière brute, sans aucune interprétation. Seule la carte géologique a été traduite très partiellement en termes lithologiques. Aucun regroupement n'a par exemple été effectué entre différentes classes de végétation.

Les différentes cartes sont les suivantes :

- la carte géologique de la Basse-Terre à 1/50.000 (De Reynal De Saint-Michel, 1966) (fig. 2) ;
- la carte pédologique de la Basse-Terre à 1/150.000 (Colmet-Daage, 1982) (fig. 3) ;
- la carte des sols de la Guadeloupe à 1/20.000 (Colmet-Daage, 1970). Il s'agit de la carte la plus complexe. Elle comprend en fait 6 niveaux d'informations concernant les séries pédologiques (fig. 4-a), les types principaux au sein de chaque série, les sous-types et le modelé (fig. 4-b), ce dernier caractère ayant trait à la géomorphologie. Les deux derniers niveaux d'informations indiquent la présence ou l'absence de colluvions et de sols à halloysite ;
- la carte de la végétation à 1/150.000 (Portecop, 1982). Elle indique d'une part la répartition des différentes classes de végétation naturelle (fig. 5-a) et d'autre part, l'importance relative des cultures par rapport aux formations naturelles (fig. 5-b) ;
- la carte de la pluviométrie moyenne inter-annuelle numérisée à 1/300.000 (Morell, 1990) (fig. 6). Les différentes classes de pluviométrie correspondent aux zones inter-isohyètes avec pour attributs, la moyenne des isohyètes limitant chaque zone.

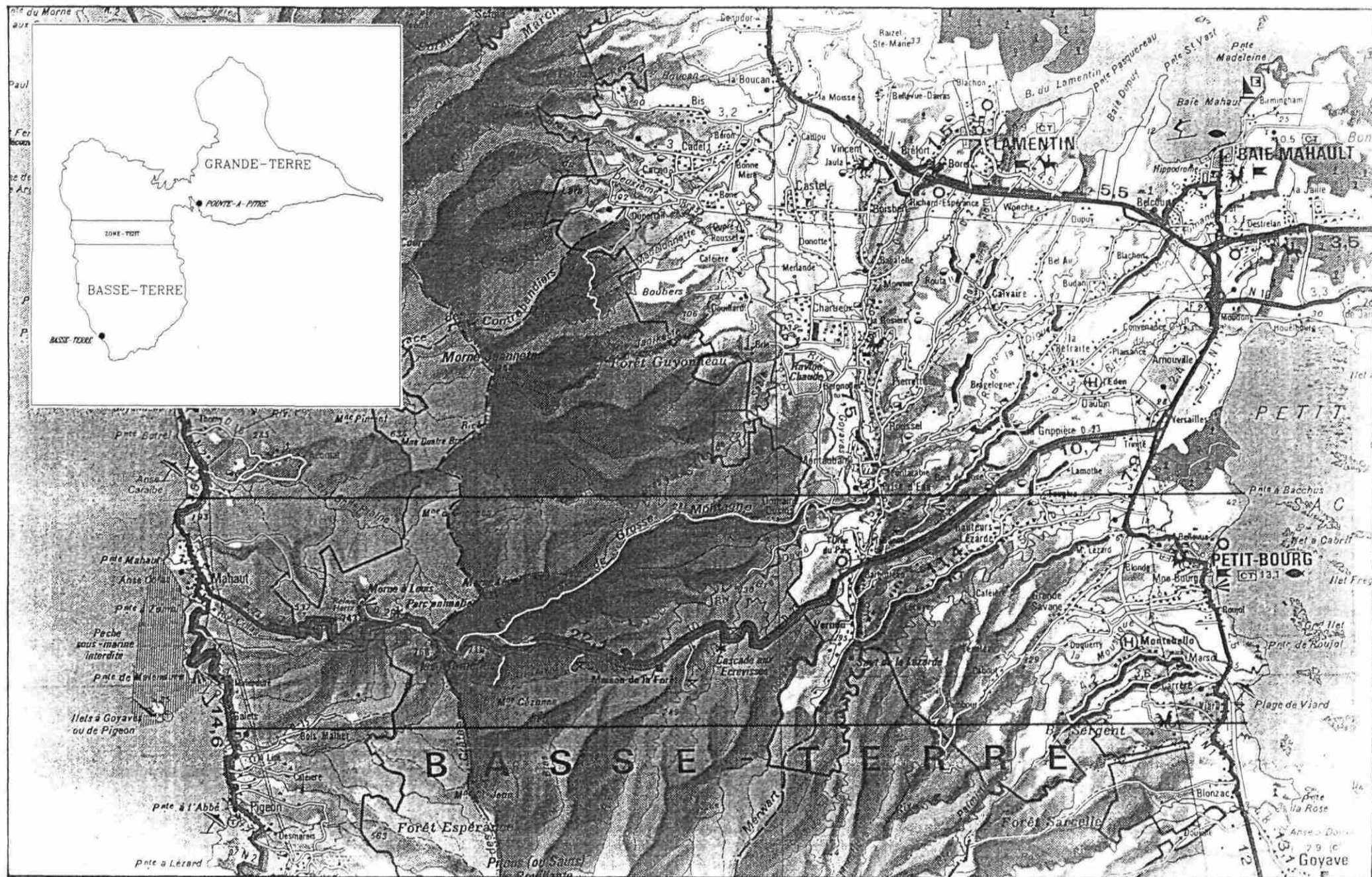


Figure 1 : Situation géographique de la zone test (1/100.000)

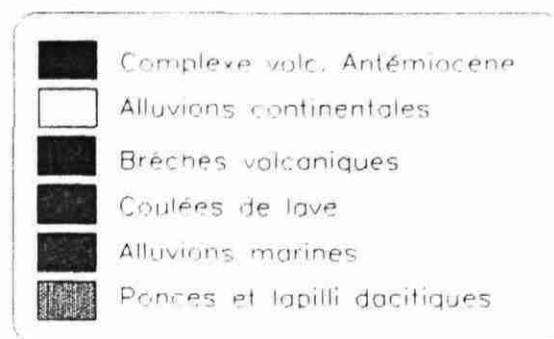
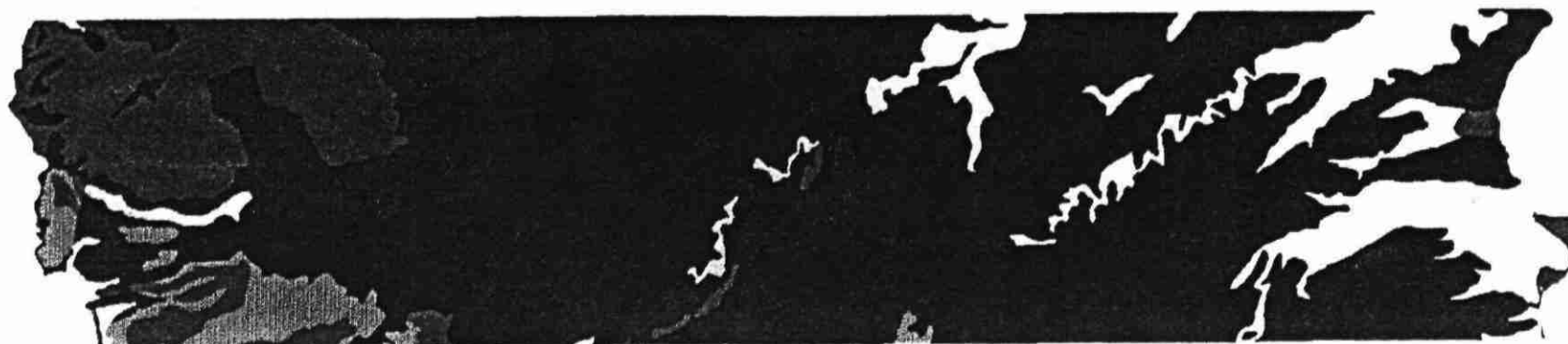


Figure 2: Carte lithologique simplifiée de la zone test (1/100000) tirée de la carte géologique à 1/50000 de la Basse-Terre

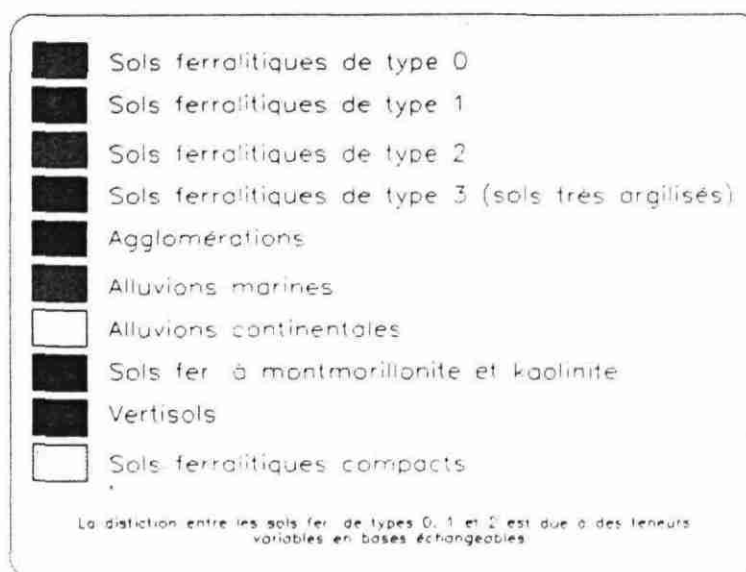
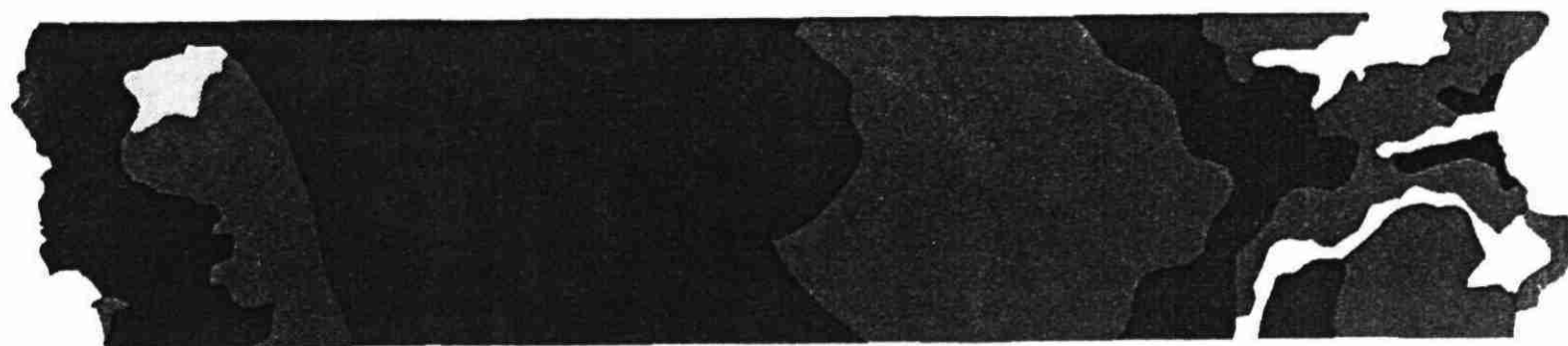


Figure 3. Carte des sols de la zone test (1/100000) tirée de la carte pédogologique de la Guadeloupe à 1/150000.

Figure 4: Carte des sols de la zone test tirée de la carte des sols de la Basse-Terre à 1/20000

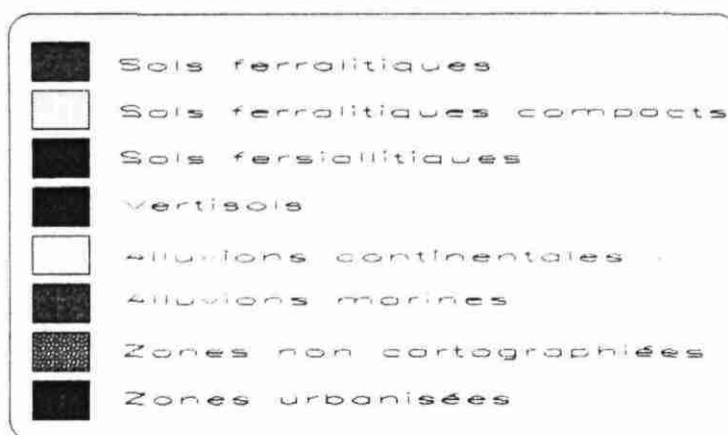
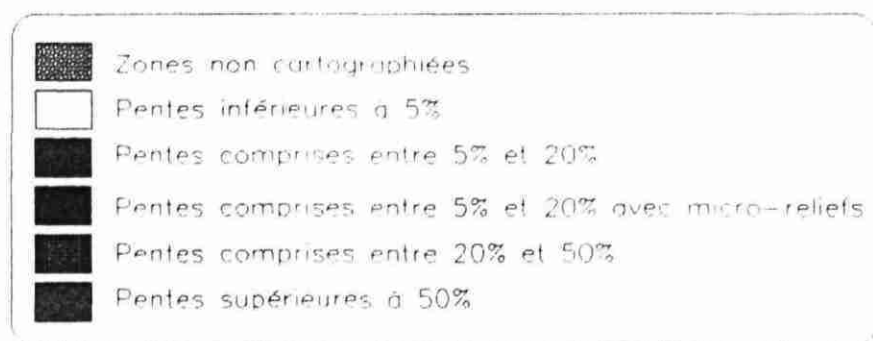
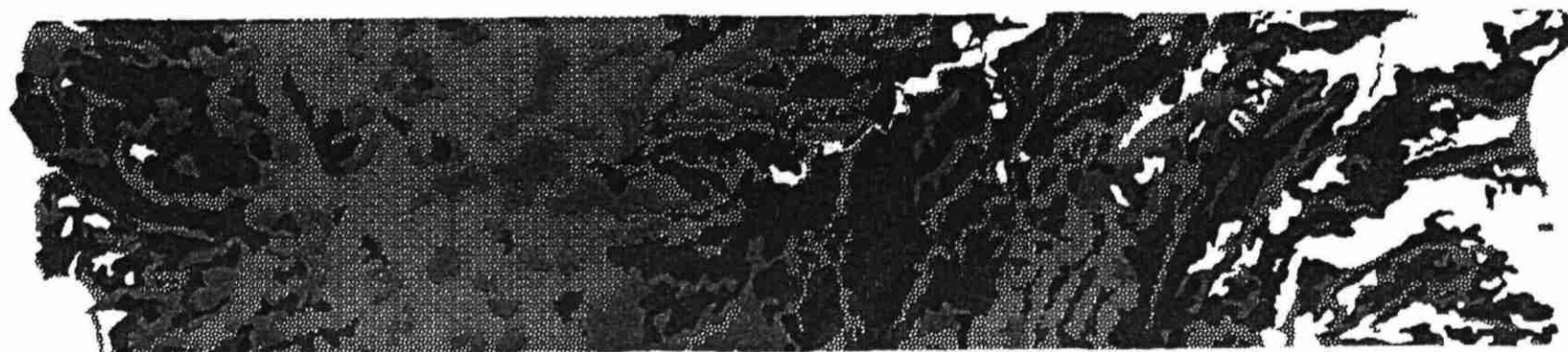


Figure 4-a: Séries pédologiques (1/100000)



Figures 4-b. Carte du modelé (1/100000)

Figure 5: carte de la végétation de la zone test tirée de la carte de la végétation de la région de l'Algarve

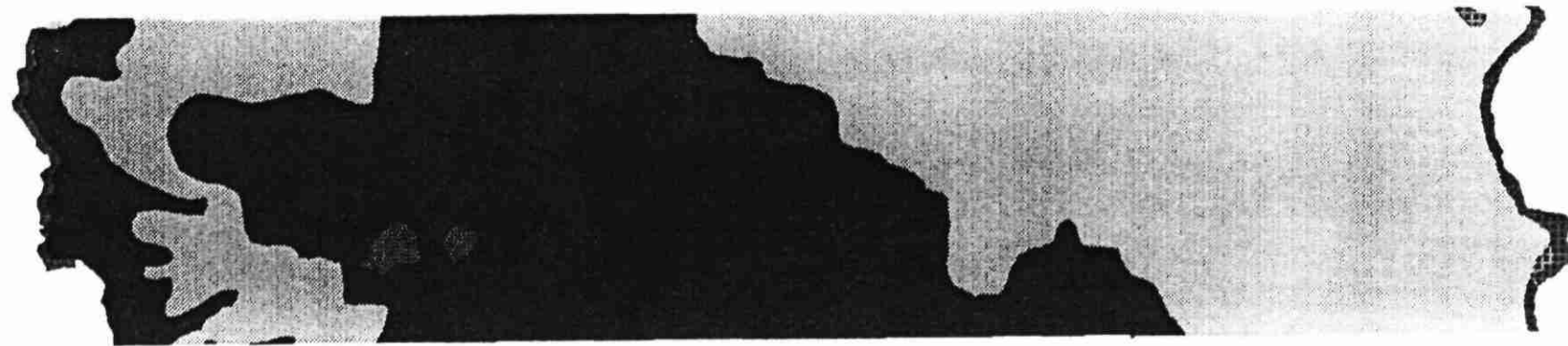


Figure 5-a: Formations végétales naturelles (1:100000)

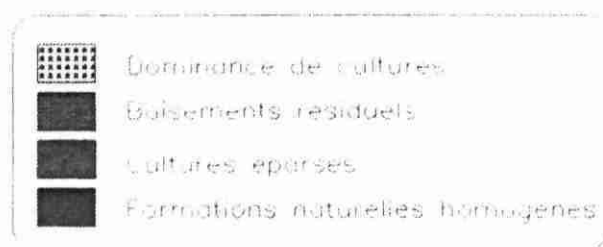
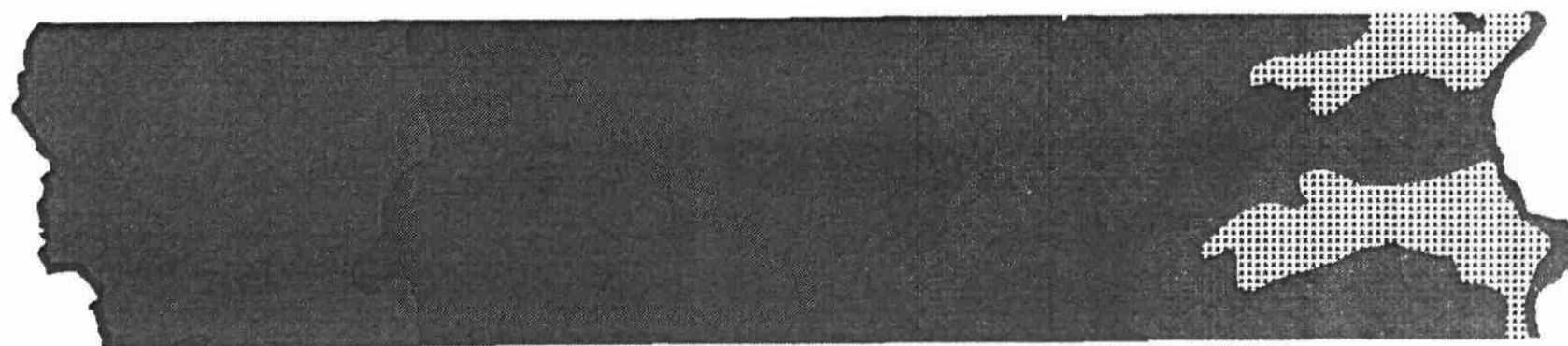


Figure 5-b : importance relative de la végétation naturelle (1:100000)

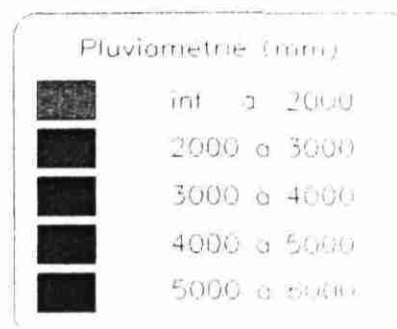
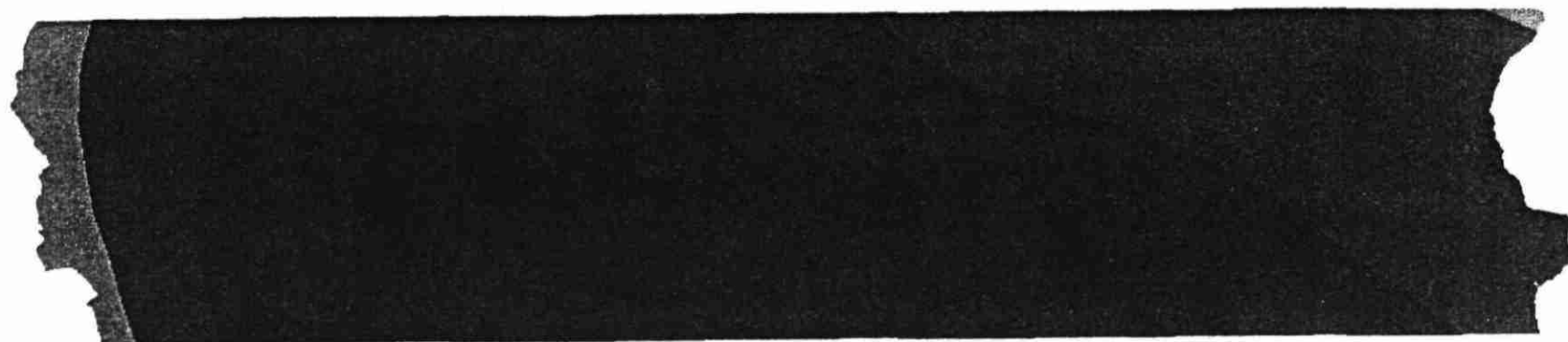


Figure 6. Carte de la pluviométrie moyenne inter-annuelle de la zone étudiée (Hemba).

2.2.3 - Codage des cartes thématiques

Pour chaque carte ayant un seul niveau d'information est associé un tableau à 3 colonnes (code séquentiel, surface et attribut) présentant autant de lignes que d'unités cartographiques délimitées (fig. 7). Le tableau 1 montre un extrait de la table associée à la carte de la pluviométrie.

Pour les cartes présentant plusieurs niveaux d'informations (carte des sols à 1/20.000 et carte de la végétation), les attributs sont complexes. Ceux-ci font l'objet d'un traitement particulier visant à les décomposer en autant de codes élémentaires que de niveaux d'informations représentés.

Par exemple le code pédologique 5BFAP peut être décomposé en :

- 5 : Type de modelé 5 (pente > 50 %)
- B : Présence de colluvions
- F : Sol ferralitique
- A : Type principal a
- P : Sous-Type P
- HO : Absence d'halloysite

La carte des sols est associée à une table à 8 colonnes (code séquentiel, surface et 6 attributs). La table associée à la carte de la végétation comporte 4 colonnes (code séquentiel, surface, type de végétation, importance de la végétation naturelle).

2.2.4 - Les produits dérivés du Modèle Numérique de Terrain

Nous disposons pour notre étude du MNT - IGN de la Guadeloupe avec une taille de maille élémentaire de 50 x 50 m². Un extrait de ce MNT englobant la zone-test a été constitué. Celui-ci permet l'élaboration de la carte des altitudes (en fait le MNT lui-même) ainsi que des cartes morphologiques suivantes en mode raster (pixels) :

- la carte des pentes ;
- la carte des convexités verticales (mesure de la courbure de la ligne de plus grande pente en chaque pixel) ;
- la carte des convexités horizontales (mesure de la courbure des courbes de niveau en chaque pixel) ;
- la carte des indices de Beven (cet indice évalue la saturation potentielle en eau en un pixel donné en prenant en compte la surface drainée par ce pixel ainsi que sa pente) ;

Ces paramètres, décrits en annexe 1, sont inspirés de travaux effectués à l'ORSTOM - Guadeloupe (Depraetere, 1991).

Le modèle Numérique de Terrain a ensuite fait l'objet d'un découpage automatique en Unités Cartographiques de Versants (UCVs) par analyse du modèle de drainage issu lui-même du MNT (Carrara, 1988 ; Carrara, 1992 ; Mompelat et Sedan, 1993) (figs. 8 et 9).

Ce traitement est rendu nécessaire par la nature même du SIG-ARC/INFO. Celui-ci ne peut en effet combiner que des informations cartographiques sous forme vectorielle. Il est certes théoriquement possible de transformer chaque Pixel d'une carte Raster en polygone élémentaire, mais la capacité de traitement du SIG interdit de fait l'utilisation de cette méthode.

On a donc été amené à découper l'espace en unités de versants qui dans le contexte tropical des Antilles, semblent être de bons supports cartographiques pour les données morphologiques.

En effet, il est possible sous ARC/INFO de connaître l'ensemble des pixels correspondant à chaque UCV. Il est donc possible à partir des cartes morphologiques énumérées plus haut, de calculer pour chaque UCV, les valeurs moyenne, maximale, minimale ainsi que l'écart-type, des paramètres morphologiques considérés (fig. 9).

En procédant selon cette démarche, la carte des altitudes moyennes (fig. 10) ainsi que 8 cartes de paramètres morphologiques de versants ont été produites :

- la carte des convexités verticales moyennes (fig. 11) ;
- la carte des écart-types des convexités verticales moyennes (fig. 12) ;
- la carte des convexités horizontales moyennes (fig. 13) ;
- la carte des écart-types des convexités horizontales (fig. 14) ;
- la carte des pentes moyennes (fig. 15) ;
- la carte des écart-types des pentes (fig. 16) ;
- la carte des indices de Beven moyens (fig. 17) ;
- la carte des convexités verticales globales (fig. 18). Ce paramètre exprime la convexité de l'ensemble d'une UCV à partir de la pente et de l'altitude de chacun des pixels qu'elle contient (pente de la droite de régression des pentes en fonction des altitudes sur l'ensemble des pixels d'une UCV donnée) (annexe 1).

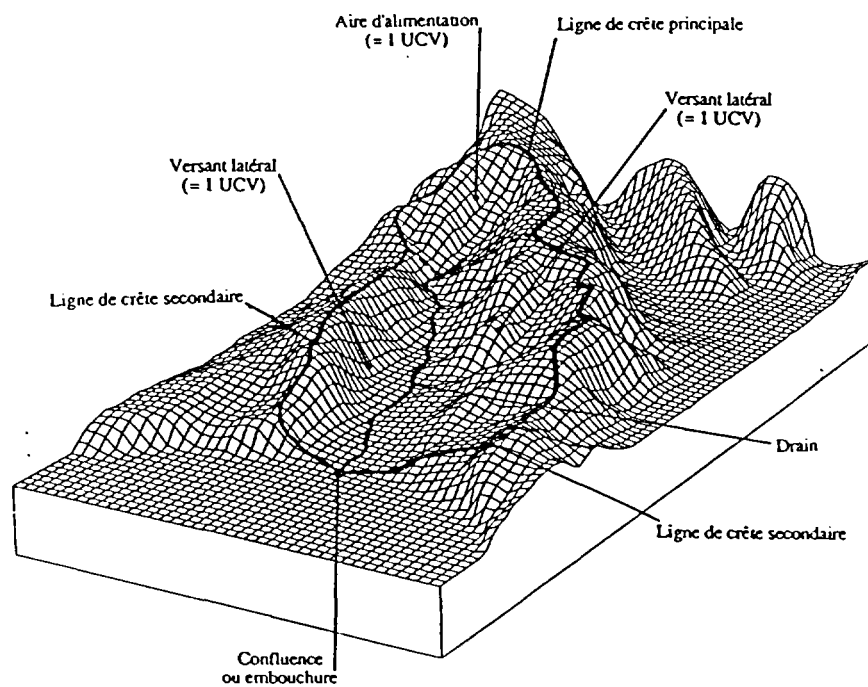
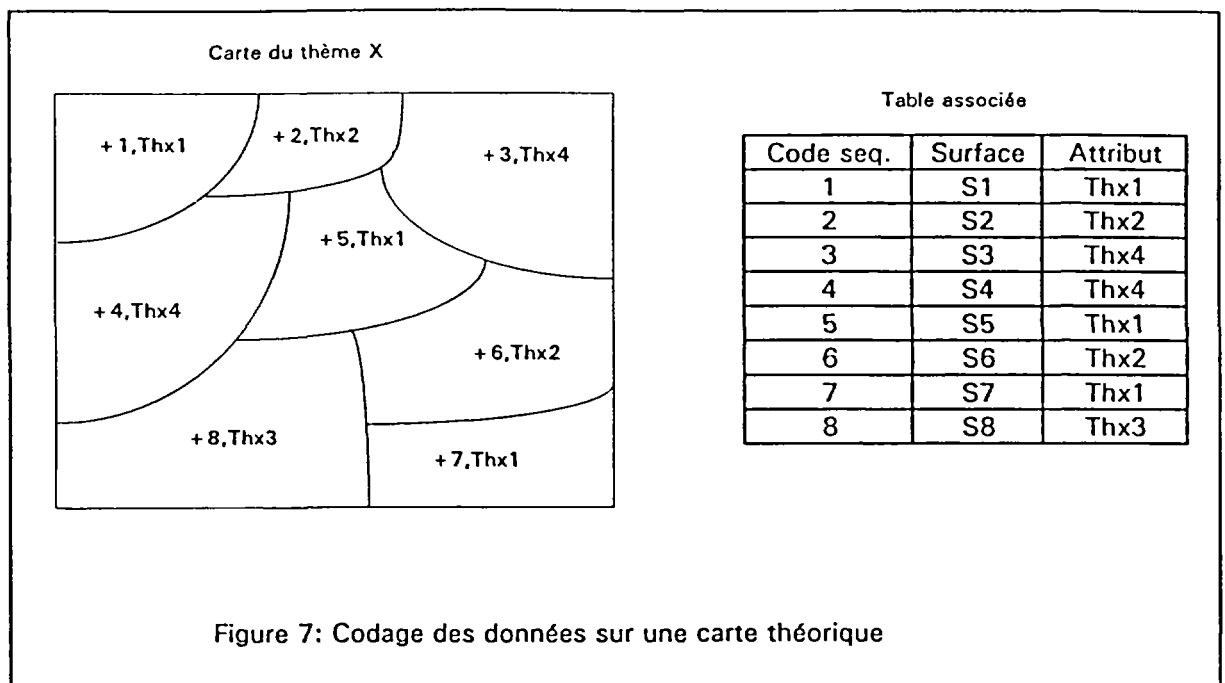
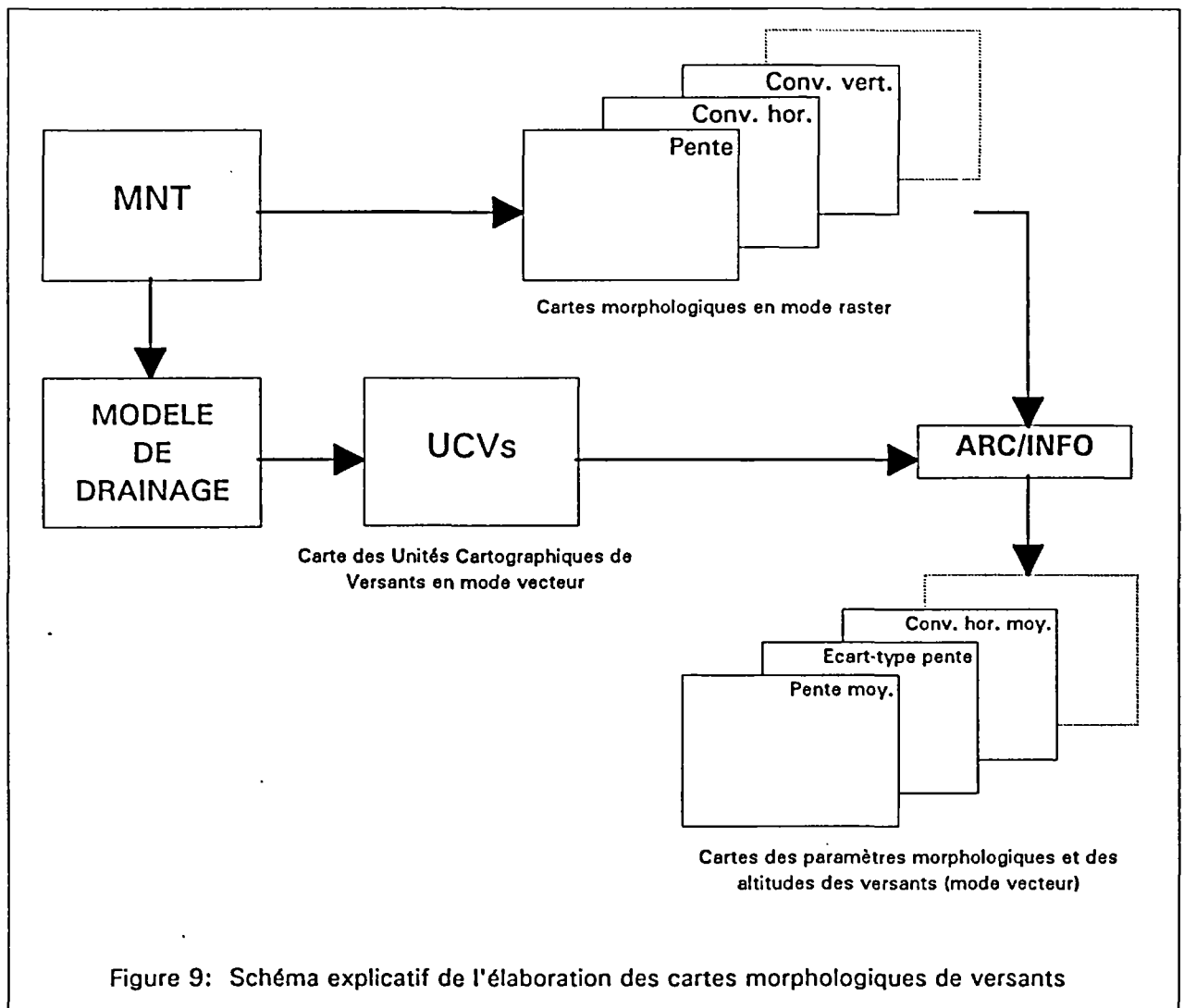


Figure 8 : Exemple de partition d'un MNT en UCVs

PLUIE_ID	SURFACE	PLUIE
1	61.82	1350
2	47.85	1250
3	47.43	1250
4	48.53	1150
5	49.98	1350
6	126.08	1450
7	110.35	1550
8	4.45	1550
9	43.34	1650
10	87.28	1750
12	10.3	1850
13	54.8	1850
14	121.15	2250
15	74.98	2750
16	1.65	2250
17	66.57	3250
18	55.84	3750
19	46.63	4250
20	43.11	4750
21	37.14	5250
22	31.05	5750
23	22.77	6250
24	21.28	6750
25	18.86	7250
26	20.42	7750
27	34.14	8250
28	5.91	8750
29	3.27	9250
30	2.65	9750
31	1.2	1250
32	5.07	750
33	15.04	1250
34	19.1	1750
35	52.94	1750
36	21.07	1250
37	2.23	1550
38	5.99	1650
39	19.92	1650
40	0.41	1650
41	0.43	1650
42	3.02	1650

Tableau 1: Table associée à la carte de la pluviométrie moyenne inter-annuelle
 PLUIE_ID : code séquentiel d'identification
 PLUIE : modalités de la variable PLUIE



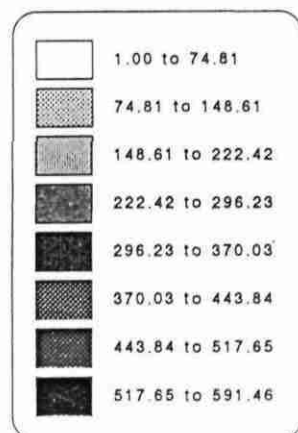
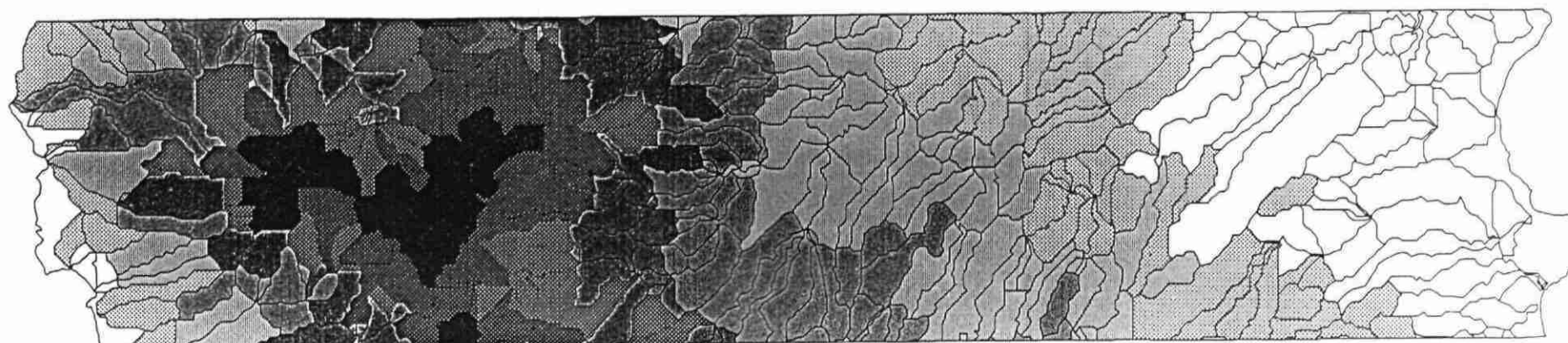
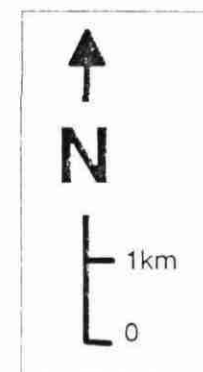


Figure 10: Carte des altitudes moyennes par UCV sur la zone-test



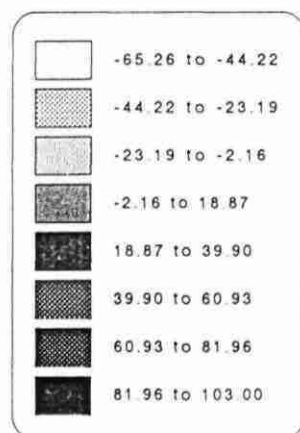
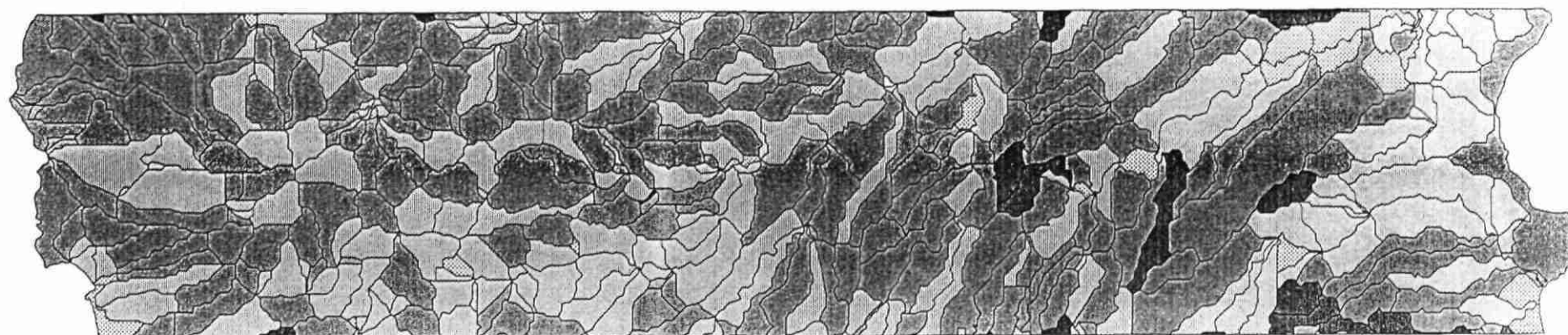
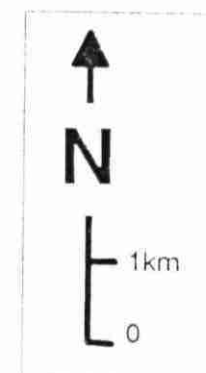


Figure 11: Carte des convexités verticales moyennes par UCV sur la zone-test



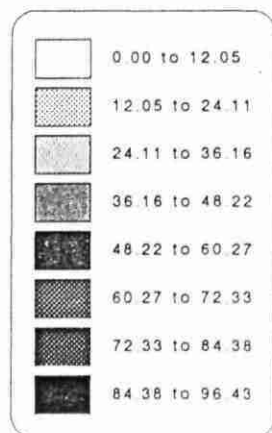
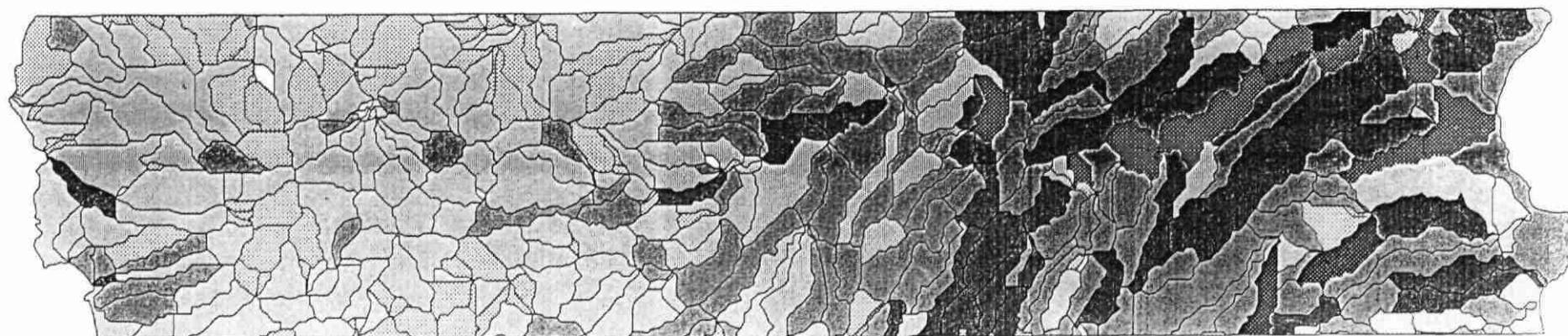
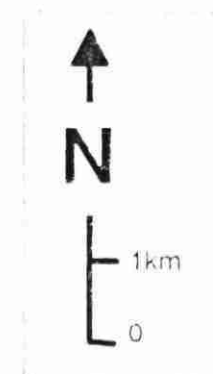


Figure 12: Carte des écarts types des convexités verticales par UCV sur la zone-test



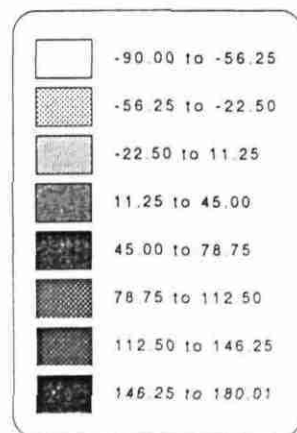
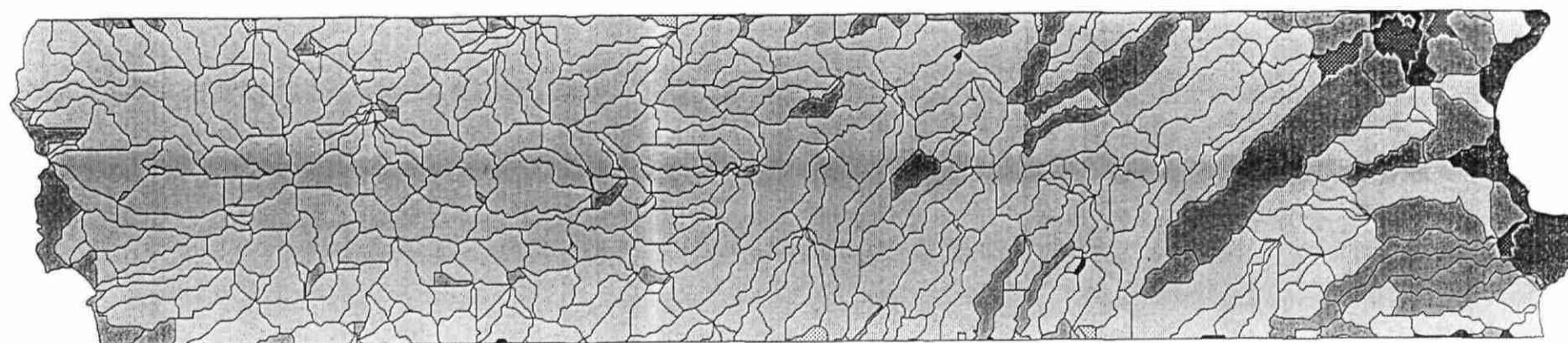
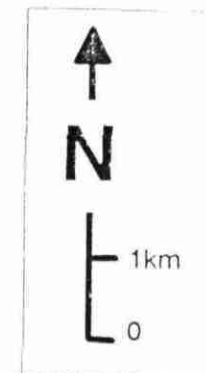


Figure 13: Carte des convexités horizontales moyennes par UCV sur la zone-test



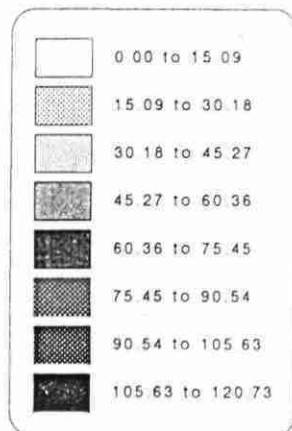
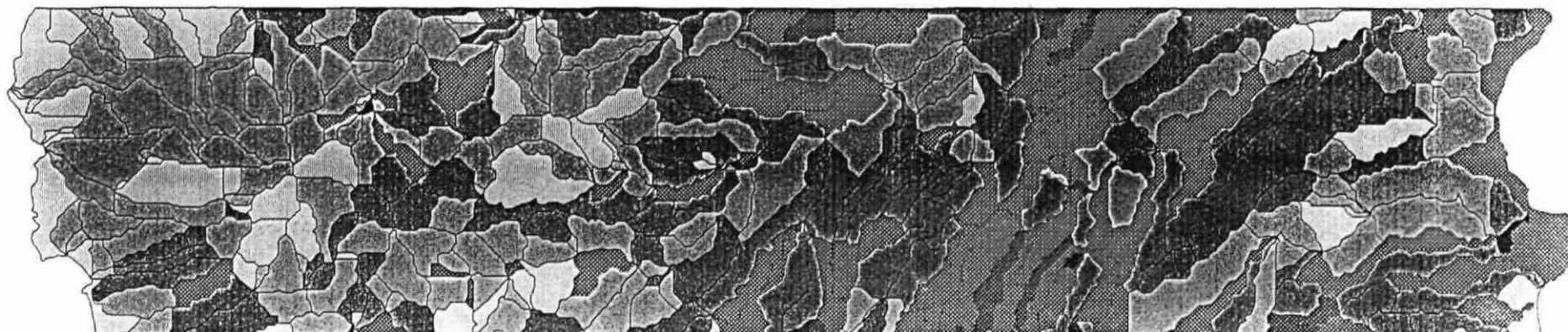
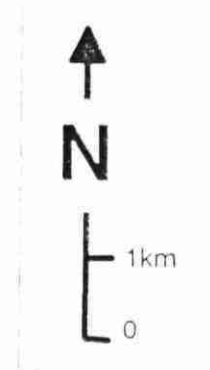


Figure 14: Carte des écarts types des convexités horizontales par UCV sur la zone-test



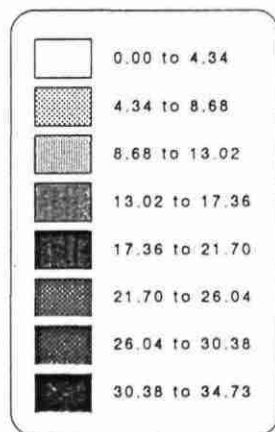
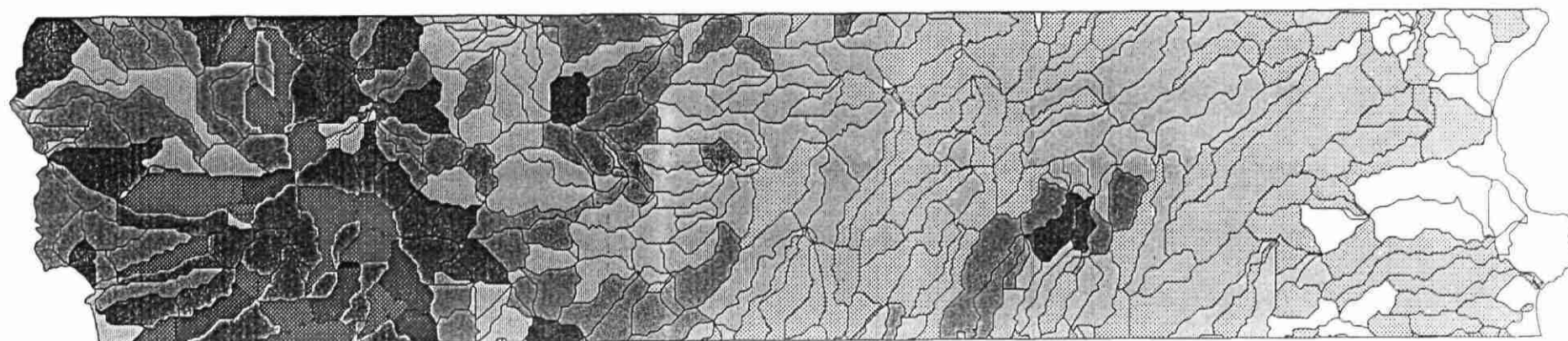
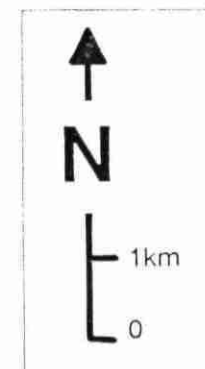


Figure 15: Carte des pentes moyennes par UCV sur la zone-test



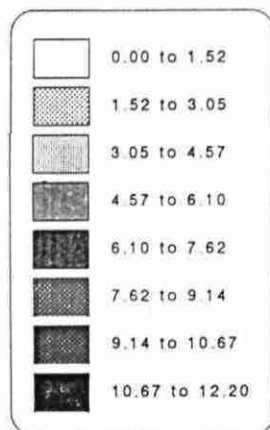
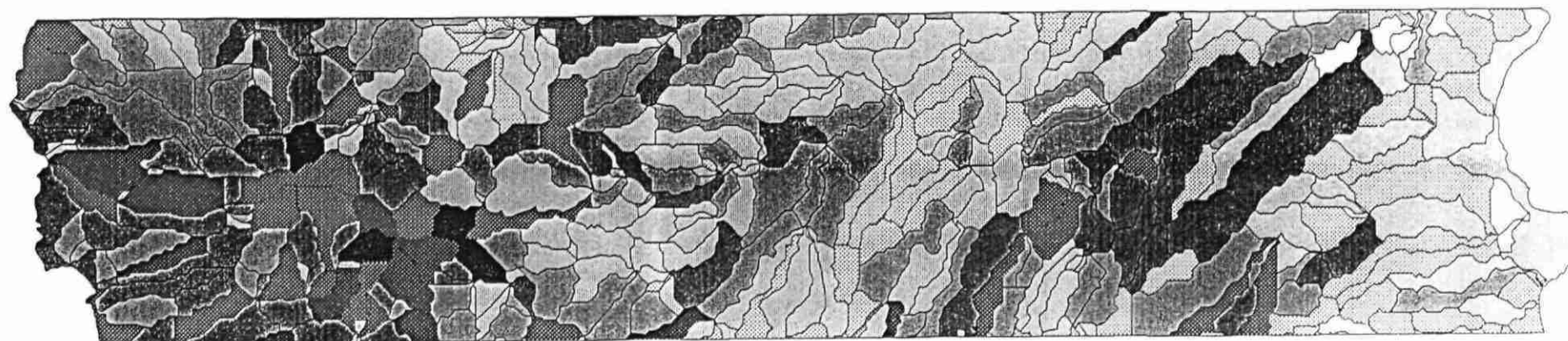
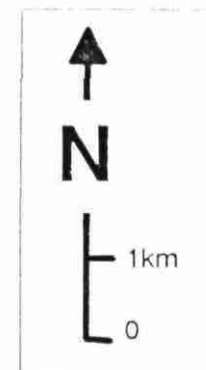


Figure 16: Carte des écarts types des pentes par UCV sur la zone-test



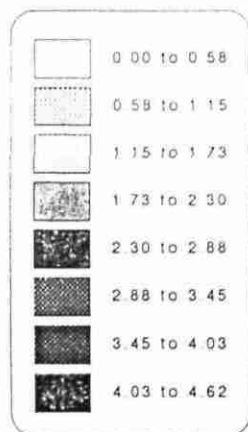
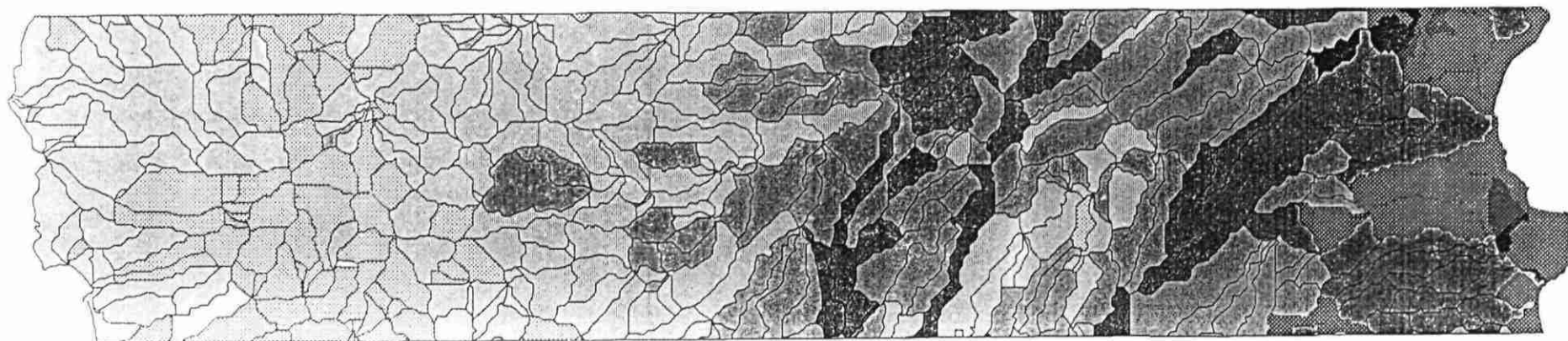
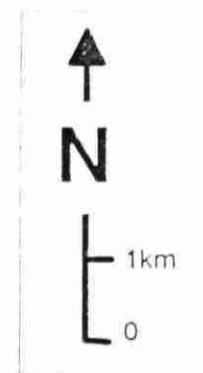


Figure 17: Carte des indices de Beveen moyens par UCV sur la zone-test



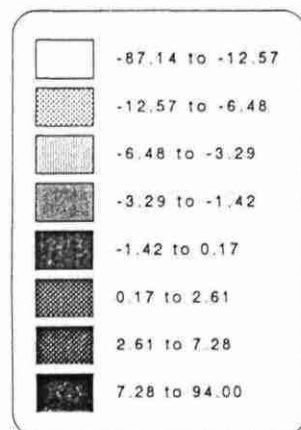
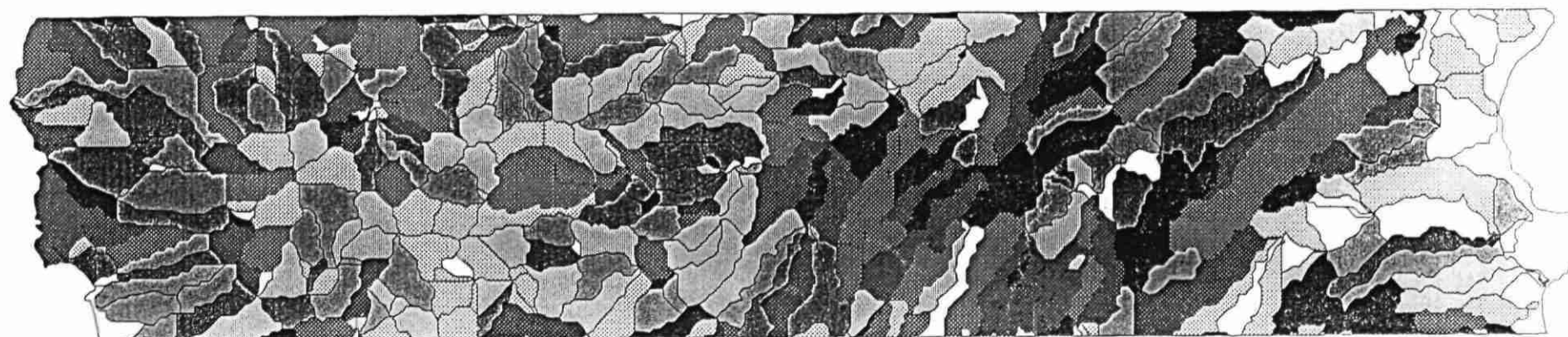
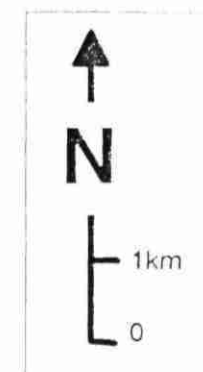


Figure 18: Carte des convexités verticales globales par UCV sur la zone-test



2.2.5 - Codage des données UCVs

Lors de l'élaboration de la carte des UCVs à partir du MNT, chaque unité de versant se voit attribuer un numéro séquentiel d'identification. Les différents paramètres morphologiques étant calculés pour chaque UCV, seule la carte des UCVs (au lieu de 9 cartes séparées) a été incorporée à la base de données avec, associé à chaque numéro d'identification, un ensemble de 9 attributs correspondants aux 9 paramètres énumérés ci-dessus. La carte des UCVs est donc associée à une table à 11 colonnes (code séquentiel, surface, un attribut altitude et 8 attributs morphologiques) et 436 lignes correspondant au nombre de polygones représentées (tableau 2).

2.3 - Les données sources pour l'analyse statistique

Avec le Système d'Information Géographique ARC/INFO, l'ensemble des cartes de la base données (cartes thématiques et carte d'UCVs) est superposé "numériquement".

Il en résulte une nouvelle carte que nous appellerons cartes des Unités Cartographiques Plurithématiques ou UCPs, au sein de laquelle les unités cartographiques sont plus nombreuses et en général de surface plus réduites que celles des cartes superposées (fig. 19).

Cette carte présente des unités cartographiques pour lesquelles de nouveaux codes d'identification ont été déterminés lors de la procédure de superposition. A chacun de ces codes est associé un ensemble de 21 attributs issus des 5 cartes thématiques et des 9 attributs de la carte de UCVs.

L'ensemble de ces données est regroupé au sein d'un tableau de 9262 lignes et 23 colonnes : le code d'identification, la surface des nouvelles unités cartographiques et les 21 attributs, associée à la carte des UCPs (tableau 3). Ce tableau contient les données brutes qui serviront aux analyses statistiques.

Comme nous l'avons vu précédemment (paragraphe 1.2), ce tableau est en langage statistique, un tableau individus x variables.

- Les individus correspondent aux lignes de tableau et correspondent aux unités cartographiques de la carte des UCPs. Ils sont identifiés par un code séquentiel.

- Les variables correspondent aux colonnes. Elles sont issues de cartes de paramètres thématiques et morphologiques de la base de données sauf la variable SURFACE qui est "néoformée" lors de constitution de la carte des UCPs.

Toutes les variables issues des paramètres morphologiques ainsi que la variable SURFACE sont de type continu. les variables issues des paramètres thématiques sont de type nominal (tableau 4).

Le tableau 3 représente un extrait des données qui seront utilisés pour les différentes analyses statistiques envisagées.

Ce tableau peut être analysé dans son ensemble. Mais en fonction des types d'analyse effectués, des extraits relatifs à quelques variables et/ou à un type particulier (nominal ou continu), pourront être aisément obtenus.

Remarque : Le tableau de données associé à la carte des UCPs et élaboré sous ARC/INFO est au format DBF, c'est-à-dire lisible par le logiciel DBASE 3, ce qui autorise certains traitements (visualisation, tri, extraits, conversion en d'autres formats...).

UCV ID	SURFACE	MOYZ	MOYP	SPENT	MOYCOH	SCOH	MOYCOV	SCOV	CVQ	MOYBEV
1	672	12	3	3.35	49.9	77.26	3.2	37.81	-12.6	3.35
2	82	17	4	2.45	6.1	61.27	-15.4	56.64	-9.7	2.72
3	16	6	2	1.15	31.6	54.50	-32.2	50.69	-25.5	3.31
4	129	13	3	2.51	23.1	58.86	-22.0	52.02	-13.1	3.10
5	41	5	1	0.84	80.6	83.48	-18.0	41.81	-22.6	3.97
6	89	18	5	5.31	67.4	90.08	-4.7	61.77	-18.8	2.99
7	3	4	0	0.00	180.0	0.00	0.0	0.00	0.0	4.05
8	12	4	0	0.16	165.0	49.75	0.6	14.88	0.0	4.10
9	53	10	3	2.95	69.9	77.02	-38.2	46.49	-23.3	3.28
11	53	49	9	4.31	34.8	56.61	39.5	44.90	27.5	2.31
12	44	54	7	3.29	25.6	76.64	31.5	31.40	21.6	2.32
13	2	54	1	0.00	8.8	91.68	70.3	34.20	0.0	3.80
14	91	60	9	4.15	9.1	82.86	10.8	42.84	7.3	2.17
15	24	60	10	4.48	26.9	76.44	13.7	45.02	7.7	1.86
425	14	23	5	1.56	25.6	72.71	14.5	37.53	15.1	2.48
426	7	218	10	3.34	10.6	92.32	-10.9	9.59	-4.6	1.69
427	5	216	7	1.87	13.2	120.72	-16.6	17.37	-25.4	1.87
428	7	236	6	1.66	-53.0	80.32	-13.2	20.33	-30.5	2.14
429	8	57	7	4.06	57.4	40.82	39.4	37.36	18.8	2.29
430	4	24	6	2.15	66.5	69.33	26.0	24.90	54.5	2.25
431	3	24	5	1.31	12.9	11.25	-30.0	15.55	-35.4	2.38
432	4	213	12	3.05	1.3	97.17	-10.8	18.92	-17.4	1.55
433	20	325	26	9.83	28.7	42.40	35.1	23.00	26.1	0.83
434	2	264	6	2.34	-21.9	113.11	-38.1	30.46	-58.4	1.97
438	1	239	3	0.00	125.5	0.00	103.0	0.00	0.0	2.92
439	6	179	10	4.23	96.2	44.07	52.3	24.73	94.0	1.83
440	1	351	7	0.00	-86.7	0.00	-65.3	0.01	0.0	2.11
441	2	509	8	0.16	45.1	11.42	2.7	0.15	4.1	1.91
442	1	267	10	0.00	-45.8	0.00	-50.0	0.00	0.0	0.00

Tableau 2 : Extrait de la table associée à la carte des UCVs

UCP_ID	AREA	MOYZ	MOYP	SPENT	MOYCOH	SCOH	MOYCOV	SCOV	CVG	MOYBEV	GEOL50	TYPVEG	VEGNAT	PEDO150	PLUIE	MORPH	PEDO20	PRTYP	TSTYP	COLLUV	HALLOY
240	0.003777	136	17	7.98	-29.4	90.39	-31.6	36.83	-22.9	0.92	MAC	VE18	C	FPY	3250	5	K	PTK	K	COL0	HAL0
241	0.001953	136	17	7.98	-29.4	90.39	-31.6	36.83	-22.9	0.92	MAC	VE18	C	FPY	3250	4	K	PTK	K	COL0	HAL0
242	0.000417	136	17	7.98	-29.4	90.39	-31.6	36.83	-22.9	0.92	MAC	VE18	C	FPY	2750	4	K	PTK	K	COL0	HAL0
243	0.013759	247	23	6.18	5.5	49.52	0.3	20.99	3.9	0.90	MAC	VE18	C	FPY	2750	1	Y	PTY	Y20	COL0	HAL0
244	0.000470	136	17	7.98	-29.4	90.39	-31.6	36.83	-22.9	0.92	MAC	VE18	C	FPY	2750	1	Y	PTY	Y20	COL0	HAL0
245	0.001917	246	19	5.29	6.4	33.07	5.8	18.07	2.1	1.09	MAC	VE18	C	FPY	2750	1	Y	PTY	Y20	COL0	HAL0
246	0.005231	246	19	5.29	6.4	33.07	5.8	18.07	2.1	1.09	MAC	VE18	C	FPY	2750	5	K	PTKT	KTS	COL0	HAL0
247	0.004640	80	10	4.53	11.3	59.89	-7.7	39.20	-2.2	1.81	AA	VE18	B	FX	2750	2	F	PTF	F	COL0	HAL0
248	0.087363	246	19	5.29	6.4	33.07	5.8	18.07	2.1	1.09	MAC	VE18	C	KT	2750	5	K	PTKT	KTS	COL0	HAL0
249	0.061786	246	19	5.29	6.4	33.07	5.8	18.07	2.1	1.09	MAC	VE18	C	KT	2750	4	K	PTKT	KT	COL0	HAL0
250	0.001086	209	11	5.81	-47.0	95.84	-29.2	28.15	-32.3	1.39	I	VE20	D	FPZ	3750	4	F	PTF	F	COL0	HAL0
251	0.001077	12	3	3.35	49.9	77.26	3.2	37.81	-12.6	3.35	I	VE20	D	F	0	4	F	PTFA	FAP	COL0	HAL0
252	0.030747	101	6	3.33	19.3	66.85	-22.5	49.56	-5.4	2.38	AQ	VE18	B	FY	2750	1	A	PTAD	AD	COL0	HAL0
253	0.006139	271	14	4.47	3.8	31.86	2.4	17.35	-0.9	1.44	MAC	VE18	C	KT	2750	4	K	PTKT	KT	COL0	HAL0
254	0.004494	271	14	4.47	3.8	31.86	2.4	17.35	-0.9	1.44	MLC	VE18	C	KT	2750	4	K	PTKT	KT	COL0	HAL0
255	0.005722	271	14	4.47	3.8	31.86	2.4	17.35	-0.9	1.44	MLC	VE18	C	KT	2250	4	K	PTKT	KT	COL0	HAL0
256	0.002857	271	14	4.47	3.8	31.86	2.4	17.35	-0.9	1.44	MLC	VE18	C	KT	2250	3	K	PTK	K	COL0	HAL0
257	0.008887	174	15	3.76	25.0	28.69	16.2	17.77	20.7	1.36	MAB	VE18	C	KT	2250	4	V	PTV	V	COL0	HAL0
258	0.000133	271	14	4.47	3.8	31.86	2.4	17.35	-0.9	1.44	MAB	VE18	C	KT	2250	4	V	PTV	V	COL0	HAL0
259	0.000077	271	14	4.47	3.8	31.86	2.4	17.35	-0.9	1.44	MLC	VE18	C	KT	2250	4	V	PTV	V	COL0	HAL0
260	0.004114	450	12	2.80	-0.4	36.95	-4.5	15.30	-2.6	1.52	I	VE20	D	FPY	4250	1	Y	PTY	Y	COL0	HAL0
261	0.009033	197	15	8.63	-15.0	97.01	-30.8	28.49	-31.5	1.28	I	VE20	D	FPZ	3750	4	F	PTF	F	COL0	HAL0
262	0.011568	174	15	3.76	25.0	28.69	16.2	17.77	20.7	1.36	MAB	VE18	C	V	2250	4	V	PTV	V	COL0	HAL0
263	0.020163	80	10	4.53	11.3	59.89	-7.7	39.20	-2.2	1.81	AA	VE18	B	FX	2750	4	F	PTF	F	COL0	HAL0
264	0.002931	174	15	3.76	25.0	28.69	16.2	17.77	20.7	1.36	MAB	VE18	C	V	2250	3	V	PTV	V	COL0	HAL0
265	0.029165	100	11	1.89	14.6	41.82	3.2	13.37	-0.6	1.66	MAB	VE15	C	V	2250	2	V	PTVM	VM	COL0	HAL0
266	0.000994	132	8	2.77	65.9	3.76	36.0	24.70	69.2	1.96	MAB	VE15	C	V	2250	1	Y	PTY	Y20	COL0	HAL0
267	0.011535	222	14	4.38	2.5	47.77	-0.4	17.12	-4.1	1.43	MAB	VE18	C	V	2250	3	V	PTV	Y20	COL0	HAL0
268	0.018697	222	14	4.38	2.5	47.77	-0.4	17.12	-4.1	1.43	MAB	VE18	C	V	2250	2	V	PTVM	VM	COL0	HAL0
269	0.000317	222	14	4.38	2.5	47.77	-0.4	17.12	-4.1	1.43	MAB	VE18	C	V	2250	1	Y	PTY	Y20	COL0	HAL0
270	0.000446	132	8	2.77	65.9	3.76	36.0	24.70	69.2	1.96	MAB	VE18	C	V	2250	1	Y	PTY	Y20	COL0	HAL0

Tableau 3: Extrait de la table associée à la carte des UCPs

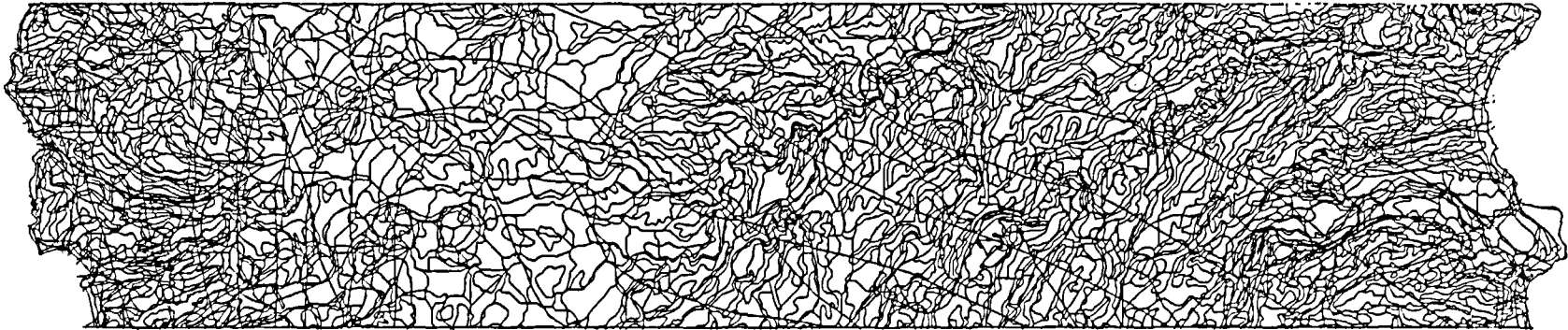


Figure 19 : Carte des unités cartographiques pluri-thématiques (UCPs)

	INTITULE	NB MODALITES	NATURE	ORIGINE DE LA CARTE
VARIABLES NOMINALES	PEDO150	10	Séries pédologiques	Carte pédologique à 1/150.000
	PEDO20	7	Séries pédologiques	Carte des sols à 1/20.000
	PRTYP	25	Principaux types de sols	
	TSTYP	56	Sous-types de sols	
	COLLUV	2	Pésence/absence de colluvions	
	HALLOY	2	Pésence/absence d'halloysite	
	MORPH	6	Modelé	
	TYPVEG	9	Types de végétation	Carte de la végétation à 1/150.000
	VEGNAT	4	Importance de la végétation naturelle	
VARIABLES CONTINUES	GEOL50	6	Formations géologiques	Carte géologique à 1/50.000
	PLUIE	9	Valeurs moyenne inter-isohyète	Pluviométrie moyenne inter-annuelle
	MOYZ		Altitude moyenne	Carte des UCVs
	MOYP		Pente moyenne	
	SPENT		Ecart-type de la pente	
	MOYCOH		Convexité horizontale moyenne	
	SCOH		Ecart-type de la convexité horizontale	
	MOYCOV		Convexité verticale moyenne	
	SCOV		Ecart-type de la convexité verticale	
	CVG		Convexité verticale globale	
	MOYBEV		Indice de Beveen	
	SURFACE		Surface des UCPs	Carte des UCPs

Tableau 4: Description des variables associées à la carte des UCPs

		VARIABLE 1					
		MOD.1	MOD.2	MOD.3		MOD.i	
VARIABLE 2	MOD.1	S.1,1	S.1,2			S.i,1	$\sum_{i=1}^I S.i,1 = SL1$
	MOD.2	S.1,2					
	MOD.3						
	MOD.j	S.1,j				S.i,j	$\sum_{i=1}^I S.i,j = SLj$
		$\sum_{j=1}^J S.1,j = SC1$				$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J S.i,j = ST$	

Tableau 5: Tableau de contingence entre 2 variables quelconques
(explications dans le texte)

3 - ANALYSE DES RELATIONS ENTRE DEUX VARIABLES

3.1 - Introduction

Ce type d'analyse consiste à étudier la logique de répartition d'une variable par rapport à une autre. Nous limiterons ici à des exemples d'analyses afin de montrer le type d'enseignement qu'elles peuvent apporter, mais également les difficultés d'interprétation qu'elles peuvent susciter.

Etant donné le nombre important de variables (21) à étudier, il faudrait 210 analyses bidimensionnelles pour rendre compte de l'ensemble des inter-relations. Nous étudierons donc pour quelques cas, les relations entre d'une part deux variables nominales et d'autre part entre deux variables continues.

3.2 - Analyse des relations entre deux variables nominales

3.2.1 - Format des données utilisées

A partir du tableau contenant l'ensemble des données (tableau 3), on construit un tableau de contingence variable x variable (tableau 5) indiquant les valeurs suivantes :

- S_{ij} correspond à la surface cumulée des individus présentant à la fois la modalité i de la variable 1 et la modalité j de la variable 2 ;
- SL_i représente la surface cumulée des individus présentant la modalité j de la variable 2 ;
- SC_i correspond à la surface cumulée des individus présentant la modalité i de la variable 1 ;
- ST représente en fait la surface totale de la zone-test.

Ce tableau de contingence est ensuite transformé en tableau de fréquence en lignes ou en colonnes selon que l'on veuille étudier la répartition des modalités de la variable 1 par modalités de la variable 2 ou inversement.

Cette opération est effectuée en ramenant le total de chaque ligne (ou de chaque colonne) à 1.

La représentation (sous-forme de courbes des tableaux de fréquence) est réalisée avec le logiciel EXCEL sous WINDOWS qui permet de visualiser aisément de telles données;

Cette visualisation est faite sous la forme d'un diagramme à 3 dimensions avec en abscisses et en ordonnées les modalités des deux variables, et les fréquences pour la troisième dimension.

3.2.2 - Exemple 1 : Analyse des relations entre végétation naturelle et pédologie à 1/20.000.

Pour ce premier exemple, deux variables nominales sont analysées.

La variable VEGETATION présente 9 modalités correspondant chacune à différents types de végétation naturelle.

Les 8 modalités de la variable PEDO 20 représentent les principales séries pédologiques issues de la carte des sols de la Guadeloupe à 1/20.000 (Comet-Daage, 1970). La modalité Y de cette variable représente les zones non cartographiées (zones à fort relief, zones très urbanisées).

Les tableaux 6-a, -b et -c correspondent au tableau de contingence entre les variables étudiées ainsi qu'aux tableaux de fréquence en lignes et en colonnes.

■ Répartition des types pédologiques par classe de végétation (fig. 20, tableau 6-b)

On constate une bonne correspondance dans ce sens car toutes les courbes sont peut étalées avec un mode principal unique bien marqué. Certaines courbes sont bimodales mais avec un second mode correspondant à la modalité Y, indiquant les zones non cartographiées. Les correspondances sont les suivantes :

- les zones de mangrove sont situées à 84 % sur les alluvions marines et à 16 % sur les alluvions dites continentales. Il en est de même pour les forêts marécageuses avec une petite part cependant (7 %) en zones à sols ferralitiques ;
- la végétation de plage se répartit à 50 % en côte au vent sur alluvions marines et 50 % en côte sous le vent sur vertisols ;
- les falaises volcaniques à végétation xérophile et la forêt xérophile correspondent à des vertisols ;
- les falaises d'altérite, la forêt mésophile, et la forêt hygrophile dense correspondent à des sols ferralitiques ;

	V1	V3	V5	V7	V8	V15	V18	V20	V21	
A	0.06	0.05	0.00	0.01	0.08	0.02	3.50	0.00	0.00	3.72
D	0.33	0.11	0.05	0.00	0.03	0.06	0.07	0.00	0.00	0.65
E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	0.51	0.00	1.33
F	0.00	0.01	0.00	0.00	0.29	0.03	28.89	20.59	0.07	49.88
K	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	1.50	2.75	0.00	0.00	4.28
V	0.00	0.00	0.05	0.34	0.00	2.78	0.49	0.00	0.00	3.66
Y	0.00	0.00	0.12	0.14	0.16	0.55	12.03	19.99	0.50	33.49
	0.40	0.17	0.22	0.51	0.57	4.93	48.54	41.10	0.57	97.00

Tableau 6-a: Tableau de contingence
En lignes, modalités de la variable PEDO20
En colonnes, modalités de la variable VEGETATION

	V1	V3	V5	V7	V8	V15	V18	V20	V21		P/L
A	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.94	0.00	0.00	1.00	0.04
D	0.51	0.17	0.08	0.00	0.05	0.09	0.10	0.00	0.00	1.00	0.01
E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.39	0.00	1.00	0.01
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.58	0.41	0.00	1.00	0.51
K	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.35	0.64	0.00	0.00	1.00	0.04
V	0.00	0.00	0.01	0.09	0.00	0.76	0.13	0.00	0.00	1.00	0.04
Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.36	0.60	0.01	1.00	0.35
											1.00

Tableau 6-b: Tableau de fréquence en lignes
Répartition des types de végétation par types de sols
La colonne P/L représente les poids respectifs de chaque type de sol

	V1	V3	V5	V7	V8	V15	V18	V20	V21	
A	0.16	0.29	0.01	0.02	0.15	0.00	0.07	0.00	0.00	
D	0.84	0.65	0.23	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	
E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	
F	0.00	0.07	0.00	0.00	0.52	0.01	0.60	0.50	0.12	
K	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.30	0.06	0.00	0.00	
V	0.00	0.00	0.22	0.66	0.00	0.56	0.01	0.00	0.00	
Y	0.00	0.00	0.53	0.27	0.28	0.11	0.25	0.49	0.88	
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
P/C	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.50	0.42	0.01	1.00

Tableau 6-c: Tableau de fréquence en colonnes
Répartition des types de sols par types de végétation
La colonne P/C représente les poids respectifs de chaque type de végétation

Tableaux 6: Tableaux de contingence et de fréquence des variables PEDO20 et VEGETATION

A: Alluvions continentales
D: Alluvions marines
E: Sols ferralitiques compacts
F: Sols ferralitiques
K: Sols fersialitiques
V: Vertisols
Y: Zones non cartographiées

V1 : Mangrove
V3 : Forêt marécageuse
V5 : Végétation de plage
V7 : Falaises volcanique à végétation xérophile
V8 : Falaises d'altérite à végétation mésophile
V15: Forêt xérophile
V18: Forêt mésophile
V20: Forêt hygrophile inférieure dense
V21: Forêt hygrophile supérieure

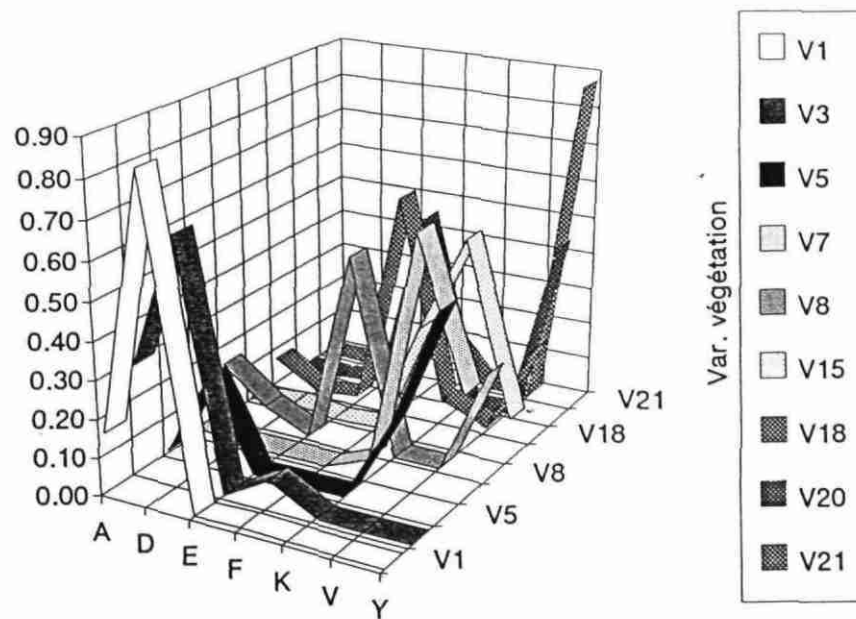


Figure 20: Courbes de répartition des types pédologiques par classes de végétation

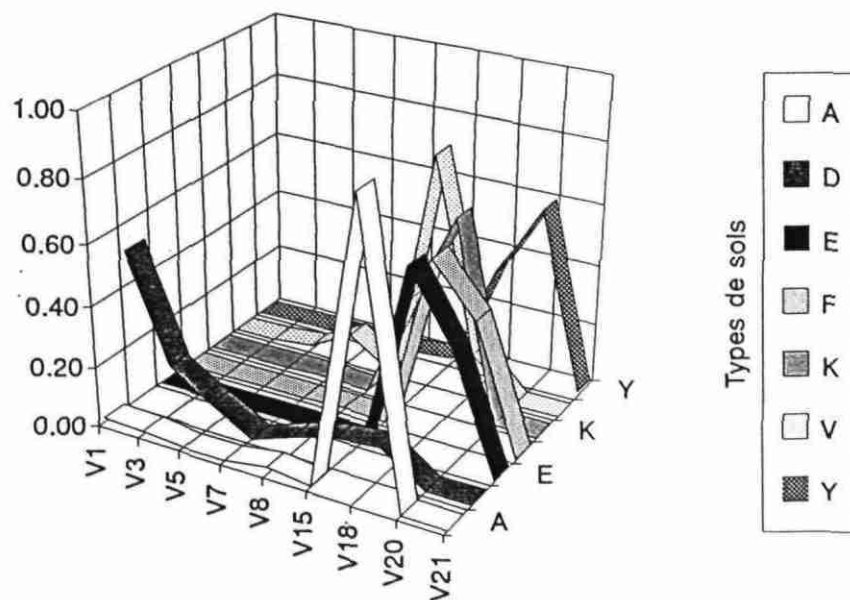


Figure 21: Courbes de répartition des classes de végétation par types de sols

- la forêt hygrophile dense (pour moitié environ) et la forêt hygrophile supérieure se développent en zones non cartographiées pour la pédologie.

Remarque : Il faut noter que les deux variables comparées ici sont issues de cartes numérisées à des échelles très différentes (1/20.000 contre 1/50.000). La largeur des bandes de végétation côtière est exagérée à l'échelle du 150.000e et peuvent donc déborder sur des zones situées plus à l'intérieur des terres (cf la présence de forêt marécageuse sur sols ferrallitiques). Ceci peut fausser quelque peu l'interprétation dans la mesure où le tracé des mêmes zones à 1/20.000 pour les types de sols est beaucoup plus précis.

Conclusions :

On constate qu'il y a une bonne correspondance dans ce sens puisque l'information type de sol peut être déduite de manière satisfaisante de l'information végétation.

On peut également noter que les agents influants sur la répartition de la végétation influent également dans une certaine mesure (difficile à apprécier quantitativement) sur la répartition des types de sols. En effet ceux-ci peuvent être assez bien distingués les uns des autres à partir des différents types de végétation (les différents modes des courbes correspondent à des types de sols distincts).

■ Répartition des types de végétation par types pédologiques (fig. 21, tableau 6-c)

Dans ce sens, sauf pour la série des alluvions marines (modalité D), toutes les courbes sont unimodales avec, des valeurs de mode élevées. On peut donc d'un point de vue statistique déduire aisément la végétation des différents types de sols. Par contre ceux-ci ne sont pas très discriminants vis-à-vis de la végétation puisque toutes les modalités types de sols ont sensiblement la même "signature".

En fait, un faible nombre de classes de végétation représente un maximum de surface couverte, et masque ainsi l'information des classes ne représentant qu'une surface limitée.

Conclusions

On constate que pratiquement quelque soit le type de sol, la végétation est peu discriminée (elle se répartit seulement entre forêt mésophile et forêt hygrophile). On peut donc en déduire que dans une large mesure, les différents types de sols n'influent pas directement sur la répartition de la végétation.

3.2.3 - Exemple 2 - Analyse des relations entre altitude et pluie

Dans dont les valeurs se répartissent sur la zone-test de 0 à 600 m.

Nous avons donc créé une variable ALTITUDE nominale à 6 modalités correspondant chacune à une classe d'altitude de 100 m.

La variable PLUIE malgré son caractère numérique, est bien une variable nominale, dont les modalités correspondent à des classes de pluviométrie.

Les tableaux 7-a, -b et -c représentent le tableau de contingence de ces deux variables (valeurs exprimées en km^2) ainsi que les tableaux de fréquence en ligne et en colonne.

■ Répartition des classes pluviométriques par classe d'altitude (fig. 22 ; tableau 7-b)

- l'allure des courbes avec un mode principal assez bien marqué indique une correspondance à plus de 70 % d'une classe d'altitude avec 2 ou 3 classes de pluviométrie. On peut penser que les modes auraient été mieux marqués si le nombre de classe de pluviométrie était plus faible ;

- notons que les courbes correspondant aux altitudes 200 - 300 m et 300 - 400 m présentent un second mode moins marqué pour des valeurs de pluviométrie moins élevées que celles du mode principal. On peut également noter que les courbes correspondant aux altitudes supérieures à 400 m présentent à partir de mode, un épaulement vers les valeurs de pluviométrie plus faibles.

Ceci met en évidence l'effet du relief sur la pluviométrie avec des versants à l'est de l'axe de la chaîne montagneuse de Basse-Terre, très arrosés (côte au vent) et une côte sous le vent plus sèche.

On constate dans ce cas, à altitudes équivalentes, des valeurs de pluviométrie différentes.

Les valeurs pluviométriques les plus élevées sont les mieux représentées dans la mesure où les zones situées en "côte sous le vent" ne représentent qu'un tiers de la zone-test.

- On constate une évolution croissante des valeurs maximales de pluviométrie lorsque l'altitude augmente ce qui indique une corrélation positive entre les deux variables.

	<2000	2250.00	2750.00	3250.00	3750.00	4250.00	4750.00	5250.00	5750.00	
0-100	2.23	8.29	10.25	3.75	0.49	0.00	0.01	0.00	0.00	25.01
100-200	0.95	1.71	4.08	7.11	6.03	1.55	0.30	0.00	0.00	21.72
200-300	0.49	1.98	2.14	1.48	4.27	5.98	4.93	0.21	0.00	21.48
300-400	0.00	0.12	0.53	0.95	1.84	3.04	2.62	2.27	0.07	11.43
400-500	0.00	0.00	0.43	0.50	0.25	2.08	2.92	2.72	2.42	11.33
500-600	0.00	0.00	0.00	0.35	0.79	0.80	1.01	1.61	1.47	6.04
	3.67	12.09	17.43	14.15	13.66	13.45	11.79	6.81	3.96	97.00

Tableau 7-a. Tableau de contingence

En lignes, valeurs des modalités de la variable PLUIE exprimées en mm/an
En colonnes, valeurs des modalités de la variable ALTITUDE exprimées en mètres
Valeurs du tableau exprimées en Km2

	<2000	2250.00	2750.00	3250.00	3750.00	4250.00	4750.00	5250.00	5750.00		P/L
0-100	0.09	0.33	0.41	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.26
100-200	0.04	0.08	0.19	0.33	0.28	0.07	0.01	0.00	0.00	1.00	0.22
200-300	0.02	0.09	0.10	0.07	0.20	0.28	0.23	0.01	0.00	1.00	0.22
300-400	0.00	0.01	0.05	0.08	0.16	0.27	0.23	0.20	0.01	1.00	0.12
400-500	0.00	0.00	0.04	0.04	0.02	0.18	0.26	0.24	0.21	1.00	0.12
500-600	0.00	0.00	0.00	0.06	0.13	0.13	0.17	0.27	0.24	1.00	0.06
											1.00

Tableau 7-b. Tableau de fréquence en lignes

Repartition de la pluviométrie par classes d'altitude
La colonne P/L représente les poids respectifs de chacune des classes d'altitude

	<2000	2250.00	2750.00	3250.00	3750.00	4250.00	4750.00	5250.00	5750.00	
0-100	0.61	0.69	0.59	0.27	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	
100-200	0.26	0.14	0.23	0.50	0.44	0.11	0.03	0.00	0.00	
200-300	0.13	0.16	0.12	0.10	0.31	0.44	0.42	0.03	0.00	
300-400	0.00	0.01	0.03	0.07	0.13	0.23	0.22	0.33	0.02	
400-500	0.00	0.00	0.02	0.04	0.02	0.15	0.25	0.40	0.61	
500-600	0.00	0.00	0.00	0.03	0.06	0.06	0.09	0.24	0.37	
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
P/C	0.04	0.12	0.18	0.15	0.14	0.14	0.12	0.07	0.04	1.00

Tableau 7-c. tableau de fréquence en colonnes

Repartition de l'altitude par classes pluviométriques
La ligne P/C représente les poids respectifs de chacune des classes pluviométriques

Tableaux 7: Tableaux de contingence et de fréquence des variables PLUIE et ALTITUDE

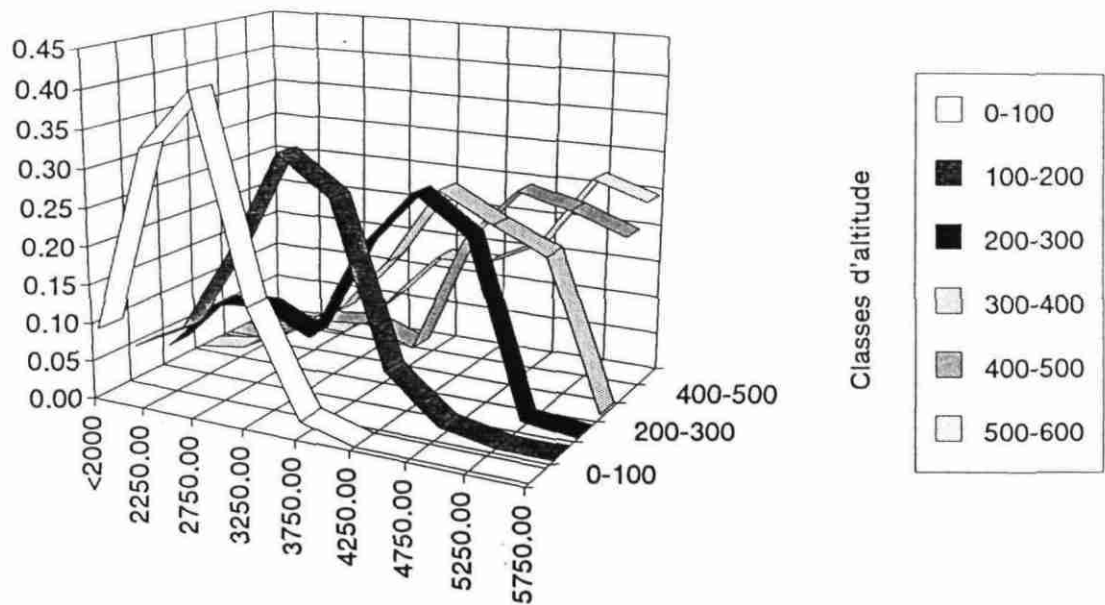


Figure 22: Courbes de répartition de la pluviométrie par classes d'altitude

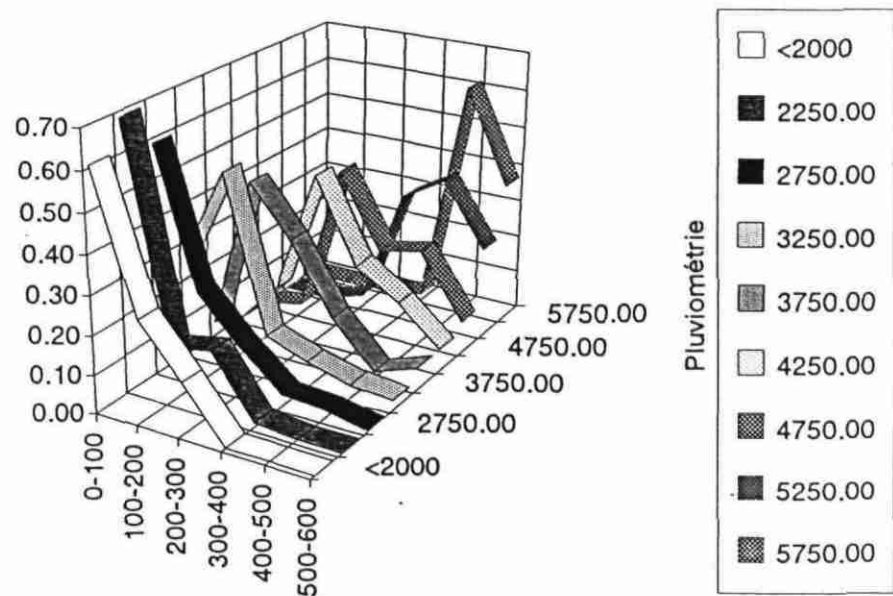


Figure 23: Courbes de répartition des classes d'altitude par classes pluviométriques

■ Répartition des classes d'altitude par classes pluviométriques (fig. 23 ; tableau 7-c)

- Ici également, on constate une tendance à une correspondance unique entre une classe pluviométrique et classe d'altitude, puisque les courbes sont à une exception près (classe de pluie "4750"), unimodales.

Cependant les valeurs de mode sont comprises entre 40 % et 70 % ce qui se traduit par des courbes relativement étalées. Ceci peut être interprété par le nombre important de classes de pluviométrie qui contribue à disperser l'information et par l'effet du relief sur la pluviométrie (à pluviométrie égale, on a des altitudes plus faibles en côte au vent qu'en côte sous le vent).

- Bien que cela ne soit pas très net (plusieurs courbes présentant la même valeur de mode) on constate une évolution croissante de l'altitude avec la pluviométrie. Avec un nombre moins élevé de classes de pluies, cette évolution serait mieux marquée.

■ Réduction du nombre de classes de pluviométrie

Les tableaux 8-a et 8-b ainsi que les figures 24 et 25 montrent respectivement des tableaux de fréquence en lignes et en colonnes ainsi que les courbes qui leur sont associées. Celle-ci sont obtenues en regroupant deux modalités successives de la variable PLUIE.

Nous ne reviendrons pas sur l'interprétation détaillée de ces courbes. Notons que la réduction du nombre de classe de pluviométrie permet une représentation plus simple des données. L'unimodalité des courbes est, dans les deux cas plus nette. De même l'évolution croissante de l'altitude avec la pluie (et réciproquement) est plus évidente.

Conclusions

L'analyse de la répartition des modalités des variables PLUIE et ALTITUDE montre, comme on pourrait s'y attendre, que ces variables sont corrélées positivement (évolution croissante d'une variable en fonction de l'autre). Lorsque le nombre de classes de pluviométrie est limité, la représentation des données est plus simple et cette corrélation apparaît plus évidente (correspondance forte d'une modalité d'une des variables par rapport à une des modalités de l'autre variable). Notons enfin que cette analyse a permis de souligner l'influence du relief sur la pluviométrie.

3.3 - Analyse des relations entre deux variables continues

3.3.1 - Format des données utilisées

Nous étudions ici les relations en 2 variables conservées sous forme continue. Le tableau 4 montre que toutes les variables continues proviennent de la carte des UCVs. Nous utiliserons donc la table associée à cette carte (tableau 2) afin de visualiser la répartition d'une variable par rapport à une autre. Cette table comporte 436 lignes (nombre d'UCVs) et 9 colonnes.

La visualisation est effectuée avec le logiciel EXCEL sous WINDOWS. Elle consiste à sélectionner 2 colonnes du tableau (à chaque ligne correspondant à une UCV est ainsi associée un couple de valeur), et à reporter sur un graphique à deux dimensions les "points UCVS" avec en abscisses les valeurs d'une colonne et en ordonnées les valeurs de la seconde colonne sélectionnée.

3.3.2 - Evolution de la pente moyenne en fonction de l'altitude moyenne des UCVs

La figure 26 montre que ces deux variables sont globalement corrélées positivement, puisqu'elles évoluent dans le même sens. Cette corrélation n'est cependant pas parfaite dans la mesure où le nuage de points est très dispersé. Une altitude donnée correspond en effet à des pentes moyennes variant sur 15° environ.

On peut donc conclure que :

- plus l'altitude augmente, plus l'intensité des facteurs favorisant les pentes élevées est forte ;
- la dispersion du nuage indique toutefois que ces facteurs, à altitude égale, influent sur la pente avec des intensités variables.

Cette variabilité peut être en fonction de la nature même des facteurs (à altitude égale, la pluviométrie est plus faible en côte sous le vent qu'en côte au vent, les formations géologiques sont différentes...), et de la façon dont ils se combinent.

3.3.3 - Evolution de l'écart-type de la convexité verticale en fonction de la convexité verticale moyenne

Le graphique représentant ces deux variables (figure 27) montre un nuage de points présentant un noyau très dense pour des valeurs de convexité comprises entre - 18° et 15° environ. Cette répartition s'explique par le fait que l'essentiel des valeurs des convexités est faible à nulle.

	<2000	2000-3000	3000-4000	4000-5000	5000-6000		P/L
0-100	0.09	0.74	0.17	0.00	0.00	1.00	0.26
100-200	0.04	0.27	0.60	0.08	0.00	1.00	0.22
200-300	0.02	0.19	0.27	0.51	0.01	1.00	0.22
300-400	0.00	0.06	0.24	0.50	0.20	1.00	0.12
400-500	0.00	0.04	0.07	0.44	0.45	1.00	0.12
500-600	0.00	0.00	0.19	0.30	0.51	1.00	0.06
							1.00

Tableau 8-a: Tableau de fréquence en lignes
Repartition de la pluviométrie par classes d'altitude
 La colonne P/L représente les poids respectifs de chacune des classes d'altitude

	<2000	2000-3000	3000-4000	4000-5000	5000-6000	
0-100	0.61	0.63	0.15	0.00	0.00	
100-200	0.26	0.20	0.47	0.07	0.00	
200-300	0.13	0.14	0.21	0.43	0.02	
300-400	0.00	0.02	0.10	0.22	0.22	
400-500	0.00	0.01	0.03	0.20	0.48	
500-600	0.00	0.00	0.04	0.07	0.29	
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
P/C	0.04	0.30	0.29	0.26	0.11	1.00

Tableau 8-b: Tableau de fréquence en colonnes
Repartition de l'altitude par classes pluviométriques
 La ligne P/C représente les poids respectifs de chacune des classes pluviométriques

Tableaux 8: Tableaux de fréquence de la variables ALTITUDE et de la variable PLUIE réduite à 5 modalités

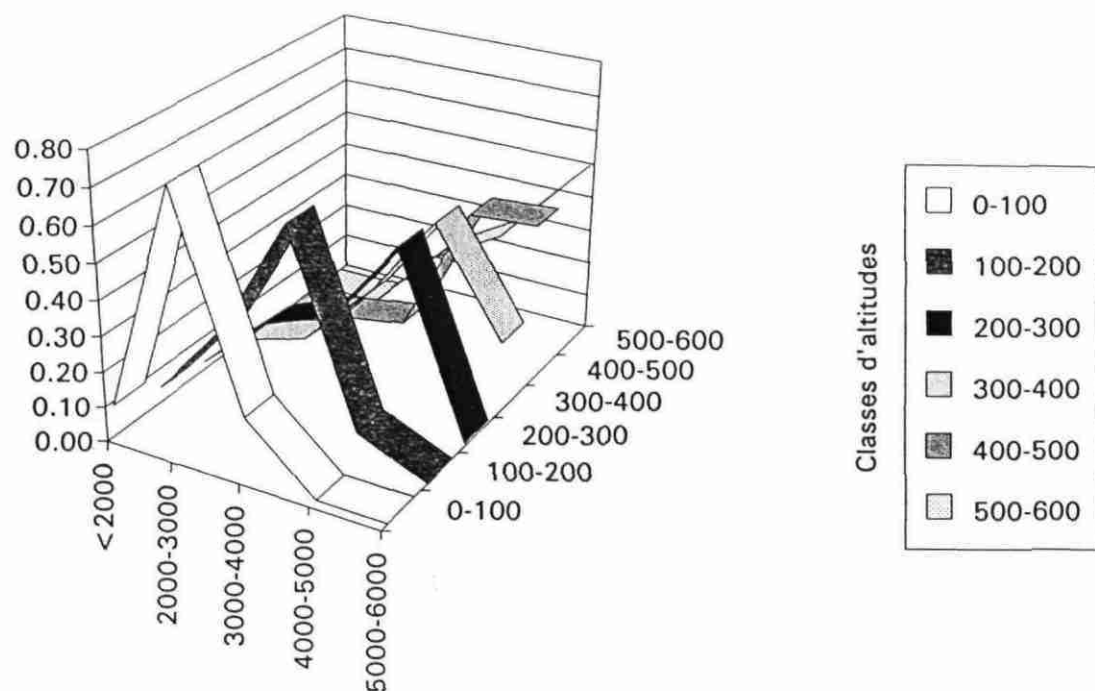


Figure 24: Courbes de répartition des classes pluviométriques (réduites à 5) par classes d'altitude

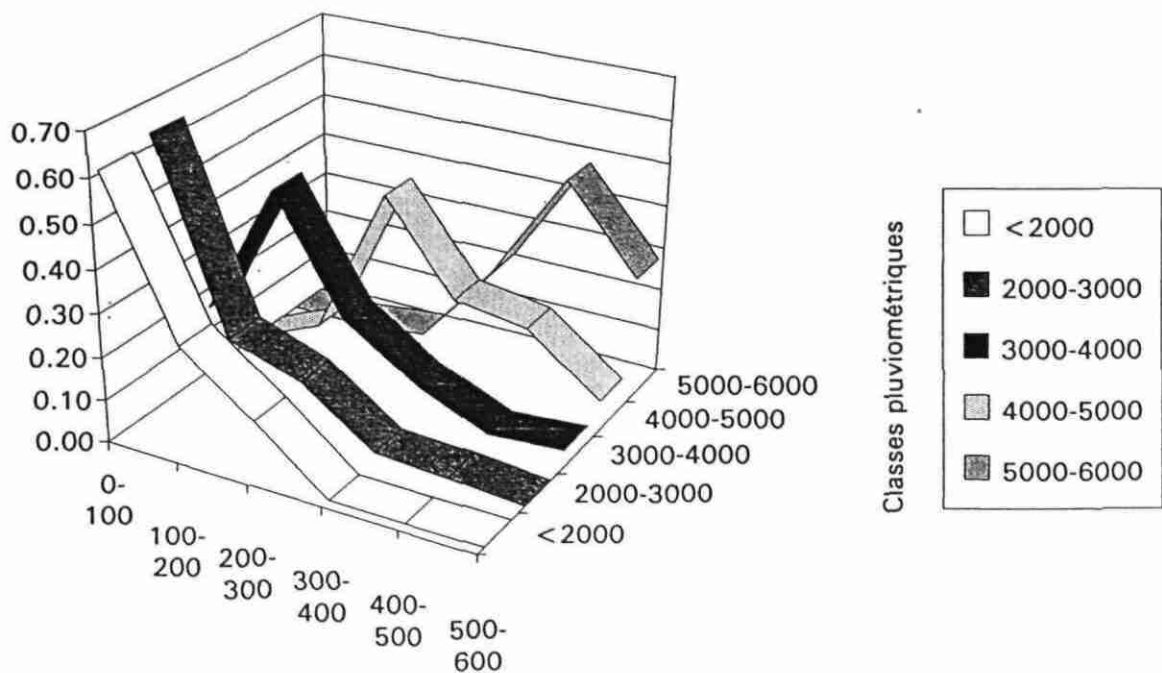


Figure 25: Courbes de répartition des classes d'altitudes par classes pluviométriques (réduites à 5)

Figure 26: Evolution de la pente moyenne en fonction de l'altitude moyenne des UCVs

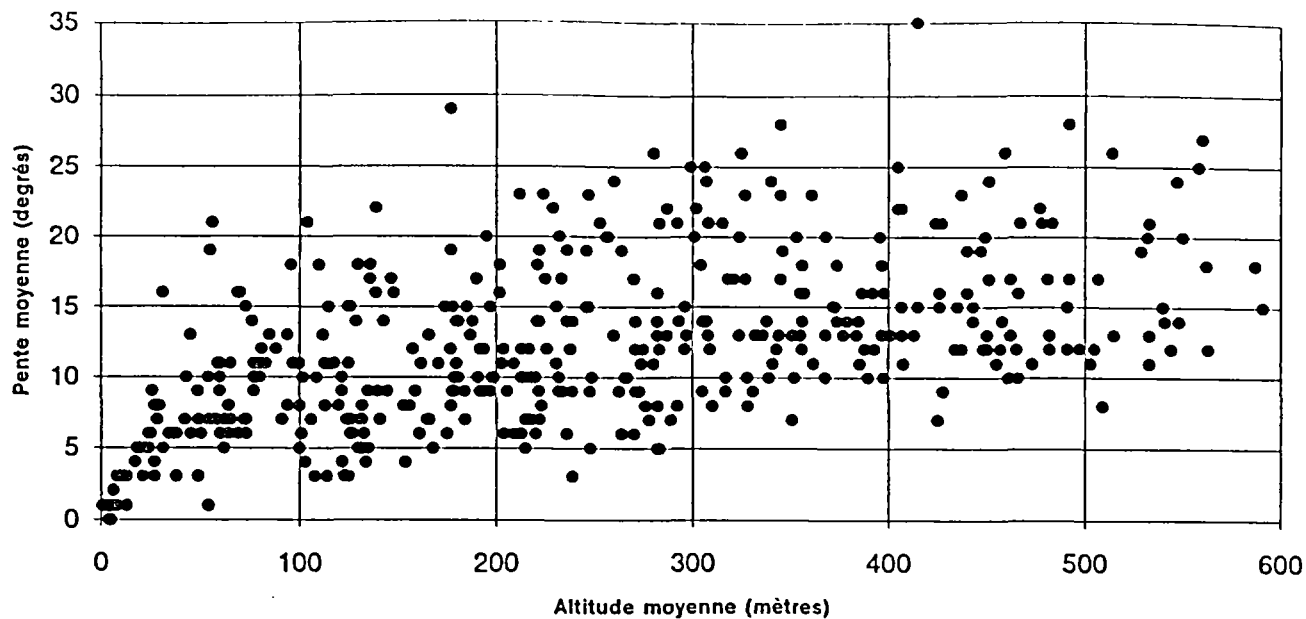


Figure 27: Evolution de l'écart-type de la convexité verticale en fonction de la convexité verticale moyenne des UCVs

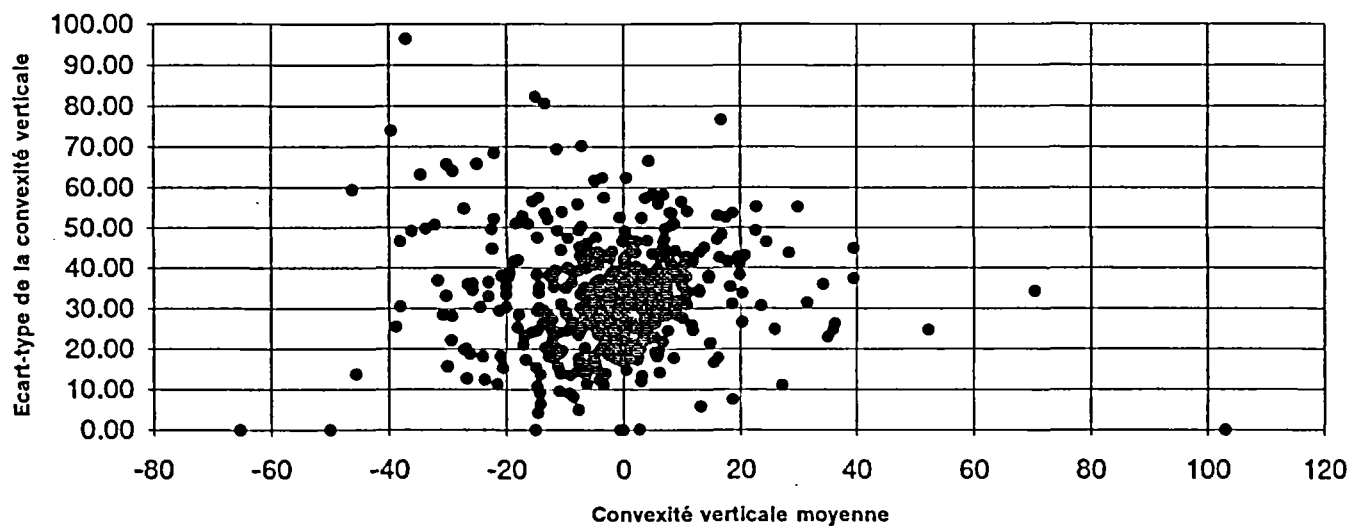
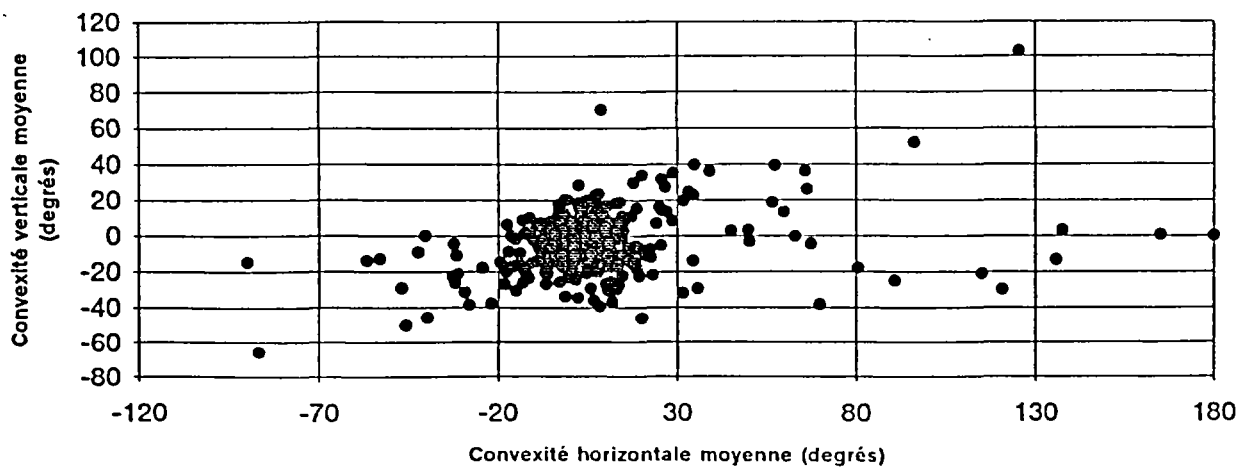


Figure 28: Evolution de la convexité horizontale moyenne en fonction de la convexité verticale moyenne des UCVs



Au sein de la partie la plus dense du nuage on constate, une répartition des points, relativement uniforme entre les valeurs d'écart-types faibles à fortes. Ceci indique que les versants présentant des convexités verticales moyennes à faibles évoluent de manière continue entre 2 extrêmes :

- des versants à profils verticaux réguliers et légèrement convexes ou concaves (écart-types faibles) ;
- des versants très irréguliers présentant des profils verticaux variables associant des formes convexes et concaves (convexités à valeurs positives et négatives). Dans ce cas, la valeur moyenne de la convexité est voisine de zéro mais l'écart-type est fort.

Les parties du nuage les moins denses correspondent à des versants atypiques, il s'agit :

- de quelques versants très réguliers présentant un écart-type nul. Ces versants sont le plus souvent à profils verticaux concaves (valeurs de convexité négative) ;
- des versants concaves (convexités verticales inférieures à -20°) plus ou moins réguliers (écart-types variables) ;
- des versants convexes (convexités verticales inférieures à 20°) plus ou moins réguliers (écart-types variables) ;
- des versants convexes (convexités verticales supérieures à 20°) à profils verticaux plutôt irréguliers (écart-types supérieurs à 30°).

3.3.4 - Evolution de la convexité verticale moyenne en fonction de la convexité horizontale moyenne des UCVs

Le nuage de points représentant ces deux variables (fig. 28) présente un "noyau" très dense représentant environ 85 % des points. Ce noyau peut être limité grossièrement par des valeurs de convexités horizontales comprises entre -20° et 20° et des valeurs de convexités verticales comprises entre -40° et 20° .

Notre propos n'est pas ici d'interpréter ces faibles valeurs de convexités aussi bien selon des profils verticaux qu'horizontaux d'autant plus qu'une telle interprétation nécessite un examen des écart-types (cf paragraphe précédent), ce qui est impossible avec une représentation bi-dimensionnelle. Nous nous intéressons ici aux points situés en dehors de la partie la plus dense du nuage. Ces points représentent des unités de versants atypiques dans la mesure où leurs caractéristiques diffèrent de celles de la majorité des versants.

Il peut être très utile dans le cadre de la problématique des mouvements de terrain de pouvoir distinguer et identifier ces versants à morphologies particulières. Il est en effet possible en les étudiant plus en détail, de juger si leur caractère atypique implique une probabilité de mouvements de terrains plus importante.

3.4 - Conclusions

Comme le montrent ces divers exemples, l'analyse des relations entre deux variables peut être riche en enseignements. Elle peut donc constituer une aide précieuse à la compréhension des interactions entre les différents agents décrivant le milieu naturel, d'autant plus que la mise en oeuvre des deux types d'analyses bidimensionnelles effectuées est simple.

Quelques points, cependant à leur décharge, doivent être soulignés :

■ pour un nombre élevé de variables à étudier, les analyses bidimensionnelles seraient fastidieuses. Pour 21 variables de notre tableau de données le nombre d'analyses à effectuer est de 210 ($21 \times 20 / 2$) ;

■ le deuxième point découle du premier. Quand les analyses de couples de variables sont nombreuses, une synthèse multi-variables pour appréhender globalement, l'interdépendance de l'ensemble des caractères considérés paraît difficile ;

■ le nombre de modalités d'une variable peut influencer sur l'interprétation. Comme le montre l'analyse des relations entre PLUIE et ALTITUDE, en diminuant le nombre de modalités de la variable PLUIE, l'expression des données plus simple, facilite l'interprétation et permet des conclusions plus évidentes. Ce problème se pose de manière accrue pour les variables continues dont la transformation en variables nominales implique la définition subjective du nombre de modalités.

■ L'analyse combinée ainsi que la visualisation des tableaux de fréquences en lignes et en colonnes (croisement de deux variables nominales) n'est pas un exercice simple. Les conclusions auxquelles nous parvenons pour les exemples étudiés, ont été facilitées par la connaissance que l'on peut avoir du milieu ce qui implique une part de subjectivité non négligeable pour l'interprétation.

Les analyses bidimensionnelles doivent donc se concevoir comme des outils simples permettant de préciser qualitativement et ponctuellement les interactions entre deux variables. Elles permettent également d'identifier rapidement des versants présentant un caractère atypique afin de rechercher ensuite les raisons de leur particularité (ces versants pourraient en effet être affectés par des phénomènes d'instabilité).

4 - ANALYSES STATISTIQUES MULTI-DIMENSIONNELLES

4.1 - Les outils informatiques

Les différents traitements statistiques (descriptions sommaires des variables, Analyse en Composantes Principales, Analyse Factorielle des Correspondances, classifications) sont réalisés, avec le logiciel SPAD-N (Système Portable pour l'Analyse des Données) conçu par le CISIA (Centre International de Statistiques et d'Informatiques Appliquées) (Lebart et al., 1991).

Ce logiciel se présente sous forme d'un ensemble de 24 procédures (ou sous-programmes) ayant chacune une fonction élémentaire plus ou moins complexe.

Une chaîne de traitement SPAD-N nécessite la constitution d'un programme présentant une suite cohérente de procédures paramétrées en fonction de la nature des données à traiter et des différentes options de traitement souhaitées. La syntaxe est la suivante :

: (Commentaires SPAD-N : Titre, options de traitements...)

PROC nom de la procédure 1
: Titre de la procédure 1
paramètres de la procédure 1
: (commentaires)
|
|

PROC nom de la procédure n
: Titre de la procédure n
paramètres de la procédure n
STOP

L'exemple suivant montre la suite de procédures nécessaires pour l'analyse des correspondance multiples et la classification automatique du tableau TAB individus x variables.

- Fichiers sources : TAB.DON Données
 TAB.DIC Dictionnaire
- ARDIC : Archivage du dictionnaire
- ARDON : Archivage du tableau de données
- SELEC : Sélection des variables et/ou des individus. (On
 peut ne sélectionner qu'une partie des variables
 ou des individus).

- CORMU : Analyse des correspondances multiples
- DEFAC : Description des axes factoriels
- SEMIS : Classification mixte des individus caractérisés par leurs 1ères coordonnées factorielles
- PARTI : Coupure de l'arbre d'agrégation hiérarchique en n classes
- DECLA : Description des n classes
- GRAPH : Visualisation de la position des classes sur les graphiques factoriels

Comme le montre cet exemple, deux fichiers décrivant les données sont nécessaires à la mise en oeuvre du programme : le fichier de données proprement dit et un fichier dictionnaire les décrivant.

Les données sont fournies au programme sous un format particulier dit format libre. Chaque ligne du fichier correspondant à un individu est constitué par son code d'identification entre côtes suivi d'une suite de codes séparés par des virgules.

Chaque code correspond à une modalité (ou à une valeur de variable). Si une variable comprend n modalités les codes correspondant seront compris entre 1 et n.

Notre fichier de données étant au format DBF (DBASE 3), une conversion en format libre (effectuée sous DBASE 3) a donc été nécessaire.

Le fichier dictionnaire permet une description des données sous un format utilisable par SPAD-N : pour chaque variable, ce fichier comporte le nombre n de modalités ainsi que l'intitulé suivi des codes et des intitulés des modalités (fig. 29).

Pour les variables nominales le nombre de modalités est égal à 0 et il n'y a pas de modalités décrites.

A la suite des classifications effectuées, l'ensemble des codes d'identification des individus décrivant une classe est édité. Ceux-ci sont ensuite utilisés sous ARC/INFO afin de visualiser la répartition spatiale de la classe sur la zone d'étude.

TAB.DBF			
Code ident.	Surface	Végétation	Pédologie
1	13.6	V1	A
2	3.3	V2	F
3	2.6	V4	V
4	6.3	V1	V
5	21.5	V3	D
6	13.4	V3	F
7	1.6	V3	K
8	3.2	V1	K
9	5.4	V2	A
10	6.2	V4	A



TAB.DON			
'1'	13.6	1	1
'2'	3.3	2	3
'3'	2.6	4	4
'4'	6.3	1	4
'5'	21.5	3	2
'6'	13.4	3	3
'7'	1.6	3	5
'8'	3.2	1	5
'9'	5.4	2	1
'10'	6.2	4	1

TAB.DIC		
0	SURFACE	
4	VEGETATION	
V1	Mangrove	code 1
V2	Forêt mésophile	2
V3	Forêt xérophile	3
V4	Végétation de plage	4
5	PEDOLOGIE	
A	Alluvions continentales	code 1
D	Alluvions marines	2
F	Sols ferralitiques	3
V	Vertisols	4
K	Sols fersialitiques	5

Figure 29: Exemple de conversion d'un fichier quelconque du format DBF en format libre et création du dictionnaire associé
(les valeurs numériques et les modalités indiquées sont arbitraires)

4.2 - Typologie des versants par Analyse en Composantes Principales

4.2.1 - Introduction

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) ne s'applique qu'à des variables continues. Les seules variables de ce type au sein de la base de données sont associées à la carte des unités cartographiques de versants. Elles concernent l'altitude et la morphologie des versants.

Nous avons donc effectué une ACP sur le tableau de données associé à la carte des UCVs, avec deux objectifs principaux :

- analyser les corrélations entre les différentes variables et identifier celles qui présentent des caractéristiques proches ;
- à partir des résultats de l'ACP, par classification, effectuer une typologie des versants en regroupant des unités de versants aux caractéristiques morphologiques proches.

4.2.2 - Principe de l'Analyse en Composantes Principales

Nous proposons ici une présentation générale et synthétique de la méthode d'après Bouroche et Saporta (1987).

A partir d'un espace à q dimensions défini par q variables initiales, l'ACP a pour but de déterminer un sous espace de dimension moindre, en recherchant de nouvelles variables (composantes principales), linéairement indépendantes, d'importance décroissante, expliquant au mieux l'ensemble des données.

L'ACP s'applique à un tableau de p individus $\times$ q variables numériques et conduit à représenter simultanément les points des deux ensembles individus et variables.

L'analyse consiste d'abord à rechercher l'axe passant par le centre de gravité du nuage de points représentant les individus et sur lequel les distances seront en moyenne le mieux conservées. On cherche en fait l'axe sur lequel la moyenne des carrés des distances entre les projections des points est maximale, qui correspond donc à l'axe d'élongation maximale du nuage.

On cherche ensuite un second axe perpendiculaire au premier rendant également maximale la moyenne des carrés des distances entre les projections des points.

On peut continuer en dehors du plan et on trouvera alors q axes, que l'on appelle axes principaux du nuage. Soit l'individu i du tableau de données, qui avait comme coordonnées $(var_i^1, var_i^2, var_i^3, \dots, var_i^q)$, celui-ci aura par rapport aux axes principaux les nouvelles coordonnées $(C_i^1, C_i^2, C_i^3, \dots, C_i^p)$. Chaque composante qui est une combinaison linéaire des variables initiales n'est autre que la liste des coordonnées des individus sur l'axe principal correspondant.

En général quelques axes principaux suffisent à décrire les données. Le nombre d'axes nécessaires est fonction de la part d'inertie (ou de variance) de l'ensemble des individus, que restituent ces axes. Les distances calculées entre individus et entre variables relèvent de la géométrie euclidienne.

On montre que le calcul des composantes se ramène à celui des valeurs propres et vecteurs propres de la matrice de covariance ou de corrélation.

Les variables continues analysées sont le plus souvent exprimées avec des unités différentes (ce qui est le cas de nos données). Pour que les variables jouent le même rôle dans le calcul des distances et pour que celles-ci soient indépendantes des unités, on calcule la moyenne et l'écart-type de chaque variable. Les données sont ensuite centrées et réduites, c'est-à-dire qu'on retire à chaque valeur du tableau de données, la moyenne de la colonne (c'est-à-dire de la variable) correspondante et on divise chaque élément ainsi centré par l'écart-type de la colonne. On parle dans ce cas d'Analyse en Composantes Principales normée.

4.2.3 - Principe de la classification des données

4.2.3.1 - Présentation générale

On distingue deux grands types de méthodes de classification :

- les méthodes hiérarchiques qui engendrent des suites de partitions en classes, de plus en plus vastes ;
- les méthodes non hiérarchiques qui génèrent directement une partition en un nombre donné de classes.

Ces grands types englobent un nombre important de méthodes, dont l'inventaire ici n'est pas nécessaire. Nous fournissons une description rapide d'après Bouroche et Saporta (1987) et Lebart et al. (1987) de la méthode que nous avons utilisée pour traiter nos données. Celle-ci fait l'objet d'un module du logiciel SPAD-N (SEMIS) et est de nature mixte. Elle se décompose en effet en deux phases successives :

- * la première de nature non hiérarchique vise à produire une partition de l'ensemble des individus en un nombre donné de classes ;
- * la seconde phase consiste à hiérarchiser, les classes obtenues à la première phase, selon un arbre d'agrégation. La coupure à différents niveaux de cet arbre permet d'obtenir plusieurs partitions correspondant à un nombre variable de classes. Ce nombre est cependant nécessairement inférieur ou égal au nombre de classes de la partition initiale.

Cette méthode mixte présente un double avantage :

- la classification non hiérarchique (première phase) conduisant à la partition initiale est meilleure et plus rapide pour traiter les grands tableaux de données que les méthodes hiérarchiques, à volume de données équivalent (Lebart et al. 1987) ;
- la seconde phase permet d'obtenir facilement plusieurs partitions. Il est possible ainsi, par comparaison, de choisir celle permettant la description des données jugée la plus satisfaisante.

4.2.3.2 - Première phase : méthode des centres mobiles

La méthode des centres mobiles que nous utilisons permet de regrouper en k classes, n individus caractérisés par leurs coordonnées factorielles, de sorte que les individus d'une même classe soient le plus semblable possible et que les classes soient bien séparées.

L'algorithme consiste à regrouper les individus autour de k centres tirés au hasard. On calcule ensuite les centres de gravité des classes ainsi formés qui remplacent alors les centres initiaux. On itère en regroupant les individus autour de ces nouveaux centres. Le nombre d'itérations peut être fixé ou être fonction de l'inertie des classes formées.

L'inertie d'une classe étant la moyenne de carrés des distances au centre de gravité de la classe, celle-ci sera d'autant plus homogène que son inertie sera faible. La somme des inerties des classes est appelée inertie intra-classe.

Les itérations peuvent donc s'arrêter lorsque l'inertie intra-classe ne progresse plus. Afin de consolider les résultats pour notre application deux partitions de bases de k classes chacune, créées selon ce principe ont été croisées. Seules les k classes les plus abondantes sont alors sauvegardées, après croisement des deux partitions.

4.2.3.3 - Deuxième phase : classification hiérarchique ascendante

Cette méthode consiste à partir des k classes de la partition initiale, à construire une suite de partitions emboîtées en $k-1$ classes, $k-2$ classes....

La partition en $k-1$ classes est obtenue en regroupant les deux classes les plus proches de la partition k et ainsi de suite.

Le critère permettant d'agréger deux classes est le critère de "Ward" : on regroupe deux classes pour lesquelles la perte d'inertie inter-classes est la plus faible ce qui revient à réunir les deux classes les plus proches en prenant comme distance la perte d'inertie que l'on encourt en les regroupant.

Remarque : L'inertie inter-classes d'une partition de n classes représente la dispersion des centres de gravité de n classes autour du centre de gravité de l'ensemble des individus étudiés. Si l'on considère deux partitions ayant même nombre de classes, la meilleure partition sera celle présentant l'inertie inter-classes la plus élevée.

L'organisation hiérarchique des classes est représentée visuellement selon un arbre d'agrégation (ou dendrogramme).

La figure 30 montre un exemple d'arbre d'agrégation à partir d'une partition initiale en 7 classes (C1..... C7).

La partition P1 en 6 classes est obtenue en agrégeant les classes C2 et C3 pour former la classe C8.

La coupure de l'arbre selon P2 montre un exemple de création d'une partition en 3 classes (C9, C10 et C11).

La classe C13 correspond en fait à l'ensemble des individus.

4.2.4 - Le tableau de données

L'ACP s'applique aux données associées à la carte des Unités Cartographique de Versants (UCVs). Celles-ci sont contenues dans la table associée à cette carte dont un extrait est présenté au tableau 2.

Ce tableau de 436 individus et 10 variables nominales, a été transformé du format DBF en format libre pour être utilisable par le logiciel SPAD.N (cf paragraphe 4.1 - Outils informatiques et structure des données).

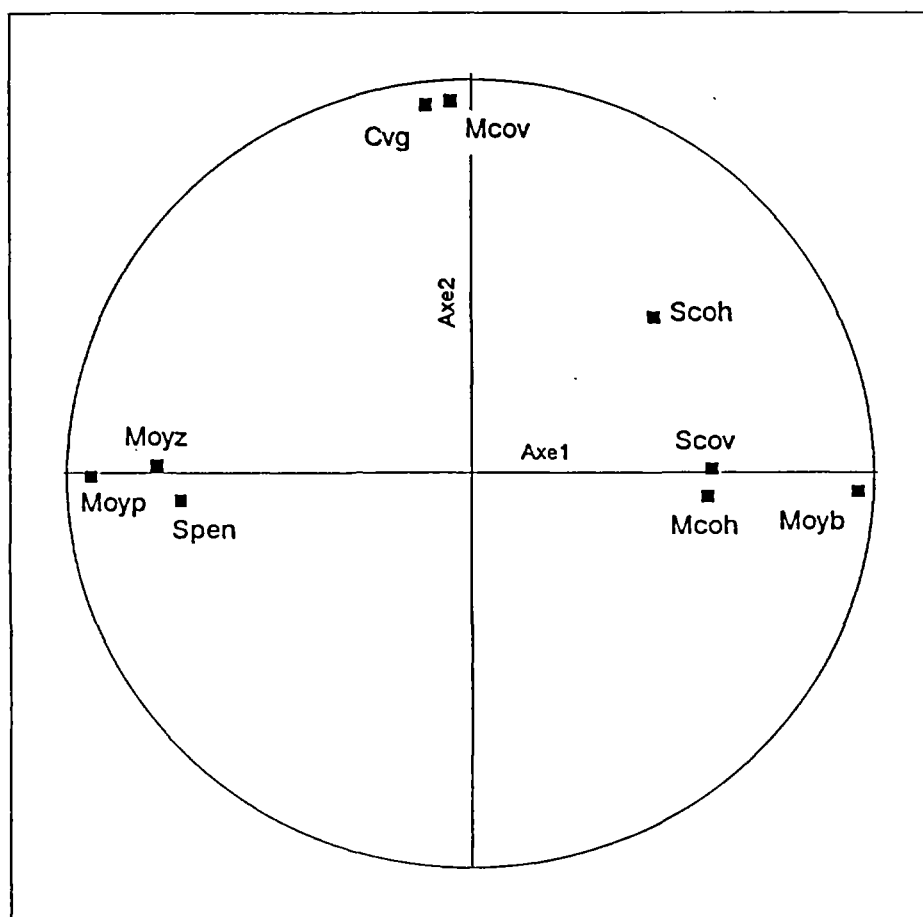
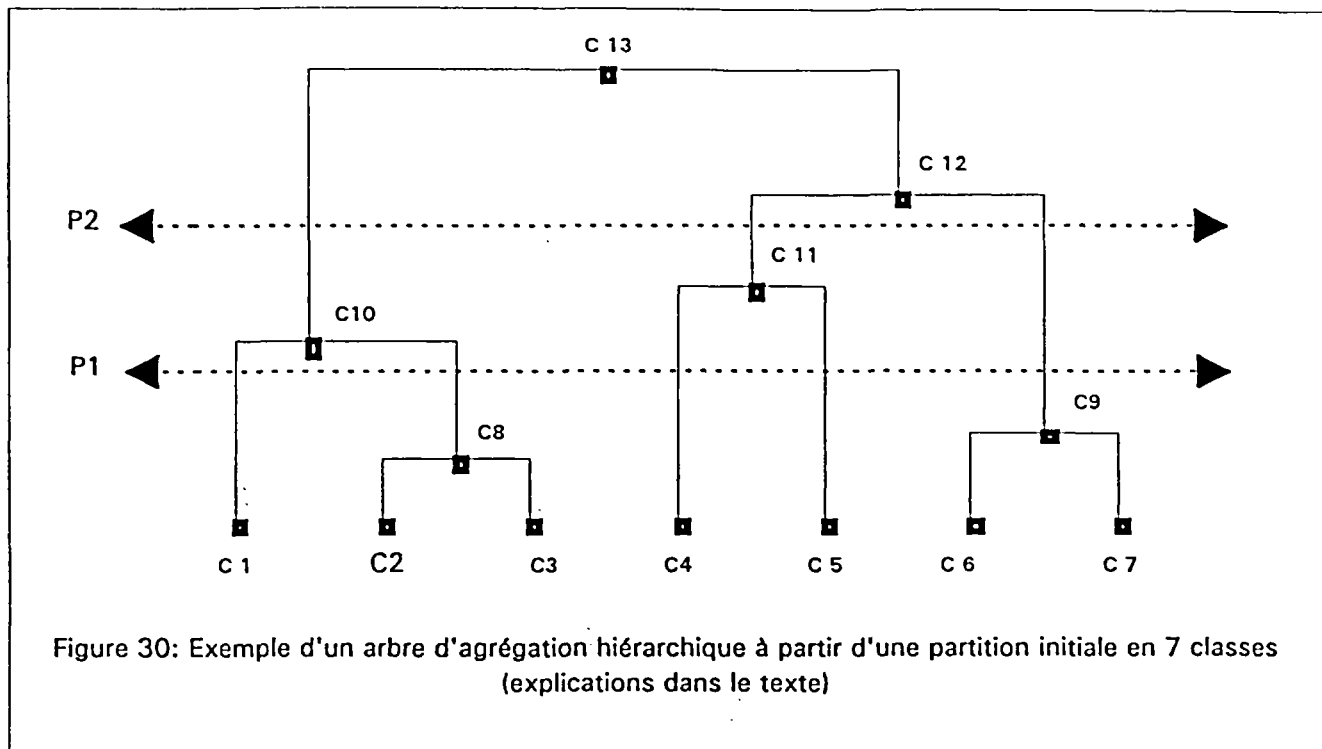


Figure 31: Cercle des corrélations issu de l'ACP effectuée sur les données UCVs

Les variables étant continues, le dictionnaire décrivant les données est simple :

0 Surf-Surface	-->	surface des UCVs en pixels (50x50 m2)
0 Moyz-Altitude moy.	-->	altitude moyenne (m)
0 Moyp-Pente moy.	-->	pente moyenne (degrés)
0 Spen-Ec.type pente	-->	écart-type des pentes par UCV
0 Mcoh-Conv.hor.moy.	-->	convexité horizontale moyenne (degrés)
0 Scoh-Ec.type Coh	-->	écart-type des convexités horizontales
0 Mcov-Conv.vert.moy.	-->	convexité verticale moyenne (degrés)
0 Scov-Ec.type Cov	-->	écart-type des convexités verticales
0 Cvg-Con.vert.glob.	-->	convexité verticale globale (degrés)
0 Moyb-Ind.Beven moy.	-->	indice de Beven moyen

Pour chaque variable la valeur 0 précédant l'intitulé indique l'absence de modalités.

Le tableau 9 présente les statistiques sommaires des variables. La variable SURFACE ne participe pas directement à l'analyse. Les unités de versants étant de tailles variables, le poids des individus est indexé sur leur surface, afin de ne pas biaiser l'analyse.

4.2.5 - Analyse des données

Le programme SPAD.N, correspondant à l'ACP est fourni en annexe 2.

L'édition de la matrice des corrélations (tableau 10) permet d'analyser l'intensité des relations entre les différentes variables.

On constate notamment que :

■ comme nous l'avions au paragraphe 3.2.1, la pente est corrélée moyennement avec l'altitude ;

■ la pente moyenne est inversement corrélée avec l'indice Beven (0,93). Ceci indique que le poids de la pente dans le calcul de cet indice qui intègre également la surface drainée, est très fort. Un coefficient de corrélation aussi élevé implique également que ces deux variables sont redondantes pour la description des unités de versants ;

Rappelons que l'indice de Beven d'un pixel quelconque est obtenu par la formule suivante : $IB = \text{Log} (S/\text{Tan} (\beta))$

S représente la surface drainée par ce pixel et β la pente locale.

- la pente moyenne est assez bien corrélée avec l'écart-type de la pente (0,78). Ceci indique que plus la pente moyenne d'un versant est forte, plus celui-ci est irrégulier ;
- la convexité verticale globale et la convexité verticale moyenne sont assez bien corrélées (0,78), bien que ces deux variables soient calculées différemment.

Elles sont donc presque redondantes, pour décrire la convexité des versants :

- hormis les corrélations qui sont soulignées ici, et celles qui en découlent (par exemple, SPENT et MOYP sont corrélés positivement ; MOYP et MOYB sont inversement corrélés ; on constate alors que SPENT et MOYB ont une forte corrélation négative), les variables sont en général bien décorrélées.

L'édition des valeurs propres (tableau 11) de l'ACP montre que les 2 premiers axes rendent compte de 63 % de l'inertie totale de l'ensemble des individus. L'analyse portant sur 9 variables et le pourcentage d'inertie sur les deux premiers axes étant élevé, on peut considérer le plan factoriel principal (formé par ces deux axes) comme suffisant pour décrire les données.

L'édition du cercle des corrélations (fig. 31) permet d'interpréter les composantes principales et de repérer rapidement les groupes de variables liées entre elles ou opposées. Ce cercle est obtenu en représentant chaque variable par un point dont les coordonnées sont ses corrélations avec les deux premières composantes principales.

La première composante est très corrélée négativement avec les variables MOYP, MOYZ et SPEN. Ces variables s'opposent à MOYB et à un degré moindre à SCOV et MCOH.

La deuxième composante principale (dont l'importance est deux fois moindre par rapport à la première) est corrélée positivement avec les variables exprimant la convexité verticale (CVG, MCOV).

L'analyse du cercle des corrélations permet d'interpréter la position des individus dans le plan principal (fig. 32). Plus un point se situe à gauche sur le graphique, plus il s'écarte de la moyenne par des fortes valeurs des variables MOYP, MOYZ et SPEN, ce qui est concomitant avec des valeurs inférieures à la moyenne de la variable MOYB. Aux points situés à droite du graphique correspondent des caractéristiques inverses.

Le nuage de points représentant les individus (dans le plan factoriel principal (fig. 32) est très dense autour de l'origine des axes et ne présente pas de groupe distinct.

NUM .	IDEN - LIBELLE	EFFECTIF	POIDS	MOYENNE	ECART-TYPE	MINIMUM	MAXIMUM	MIN.2	MAX.2
2 .	Moyz - Moyz-Altitude moy.	436	38810.00	227.87	155.10	1.00	591.00	3.00	587.00
3 .	Moyp - Moyp-Pente moy.	436	38810.00	11.80	5.83	.00	35.00	1.00	29.00
4 .	Spen - Spen-Ec.type pente	436	38810.00	5.27	2.11	.00	12.19	.15	11.65
5 .	Mcoh - Mcoh-Conv.hor.moy.	436	38810.00	6.03	14.28	-90.00	180.00	-86.70	165.00
6 .	Scoh - Scoh-Ec.type Coh	436	38810.00	62.94	14.05	.00	120.72	3.76	120.25
7 .	Mcov - Mcov-Conv.vert.moy.	436	38810.00	-.86	10.58	-65.30	103.00	-50.00	70.30
8 .	Scov - Scov-Ec.type Cov	436	38810.00	37.85	12.97	.00	96.43	.01	82.17
9 .	Cvg - Cvg-Conv.vert.glob.	436	38810.00	-1.67	7.78	-87.10	94.00	-58.40	69.20
10 .	Moyb - Moyb-Ind.Beveen moy.	436	38810.00	1.81	.64	.00	4.61	.33	4.23

Tableau 9: Statistiques sommaires sur les variables continues associées à la carte des UVCs

	Moyz	Moyp	Spen	Mcoh	Scoh	Mcov	Scov	Cvg	Moyb
Moyz	1.00								
Moyp	.61	1.00							
Spen	.37	.78	1.00						
Mcoh	-.38	-.37	-.26	1.00					
Scoh	-.23	-.35	-.21	.20	1.00				
Mcov	.06	.04	-.02	.01	.23	1.00			
Scov	-.59	-.45	-.05	.24	.34	-.10	1.00		
Cvg	.03	.07	-.00	-.14	.14	.78	.00	1.00	
Moyb	-.65	-.93	-.71	.56	.33	-.06	.45	-.15	1.00
	Moyz	Moyp	Spen	Mcoh	Scoh	Mcov	Scov	Cvg	Moyb

Tableau 10: Matrice des corrélations issue de l'ACP sur les données UCVs

NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENT.	POURCENT. CUMULE	
1	3.7658	41.84	41.84	*****
2	1.8654	20.73	62.57	*****
3	1.1199	12.44	75.01	*****
4	.7890	8.77	83.78	*****
5	.7472	8.30	92.08	*****
6	.3293	3.66	95.74	*****
7	.2188	2.43	98.17	*****
8	.1324	1.47	99.64	***
9	.0321	.36	100.00	*

Tableau 11: Histogramme des valeurs propres de l'ACP sur les données UCVs

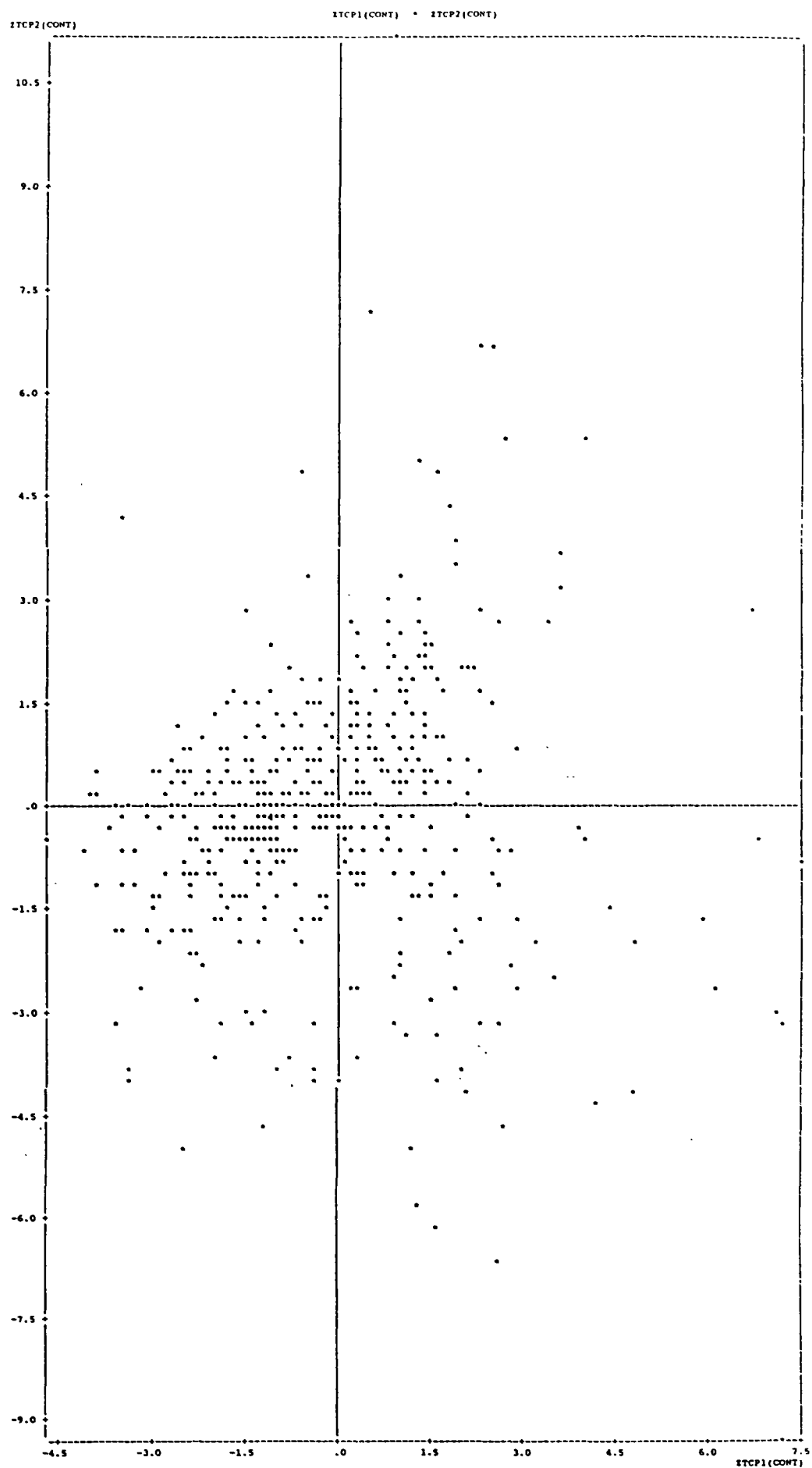


Figure 32: Représentation des individus sur le plan factoriel principal de l'ACP effectuée sur les données UCVs

Ceci indique pour la partie la plus dense du nuage (difficile cependant à délimiter précisément) que les versants présentent des caractéristiques proches. Même si cette partie du nuage est suffisamment dispersée pour exprimer des caractéristiques sensiblement différentes, pratiquement toutes les combinaisons de valeurs des différentes variables sont représentées.

En dehors de la zone centrale du nuage, les points sont moins nombreux, plus dispersés et plus éloignés de l'origine des axes. Ces points représentent des versants atypiques dont les caractéristiques diffèrent de celles de la majorité des versants représentées. Il s'agit des points à fortes valeurs positives sur l'axe 2 qui sont caractérisées surtout par de fortes convexités verticales (et inversement). Les points situés à droite du graphique (fortes coordonnées positives sur l'axe 1) sont caractérisés par des pentes et des altitudes faibles (indices de Beven forts).

Notons que le nuage est assez peu dispersé pour les points à coordonnées négatives sur l'axe 1. Ceci implique que pour des altitudes moyennes fortes, les versants présentent des caractères proches.

La mise en évidence, sur des critères morphologiques, de versants atypiques est particulièrement intéressante. Ceux-ci pourraient en effet exprimer une plus grande sensibilité aux mouvements de terrain ou au contraire une grande stabilité.

Il conviendra donc d'effectuer des regroupements au sein de ces versants afin de déterminer quelques types de morphologies particulières.

Leur caractérisation sur le terrain ainsi que leur éventuelles relations avec les mouvements de terrain seront étudiés au cours d'une phase ultérieure des travaux.

Leur localisation sur la zone d'étude n'est pas simple. En effet le passage du fichier résultat de SPAD.N au fichier associé à la carte visualisable sous ARC/INFO s'opère en plusieurs étapes (fig. 33). Quelques exemples de localisation de groupes de versant délimités sur le plan factoriel principal sont donnés à la figure 34.

4.2.6 - Classification des données

4.2.6.1 - Introduction

Les procédures SPAD.N effectuant la classification sont fournies à la suite du programme réalisant l'analyse en composantes principales (annexe 2).

Les imprécisions apparues pour la description des données au paragraphe précédent étaient inhérentes à la géométrie du nuage de points. On a en effet parlé de partie dense du nuage sans pouvoir en préciser les contours. Pour les parties les moins denses du nuage représentant des versants atypiques, aucun groupe de points distincts n'est facilement identifiable. L'intérêt de la classification automatique est de pouvoir délimiter le plus objectivement possible des groupes de points aux caractéristiques proches et d'analyser ensuite leur position sur le plan factoriel principal.

La méthode de classification utilisée est de type mixte : elle comporte une phase initiale par la méthode de centres mobiles, la partition obtenue faisant ensuite l'objet d'une classification hiérarchique.

Deux partitions de base de 10 classes chacune ont été générées par la méthode des centres mobiles. Le croisement de ces deux partitions conduit à la formation de 100 classes dont 43 ne sont pas vides.

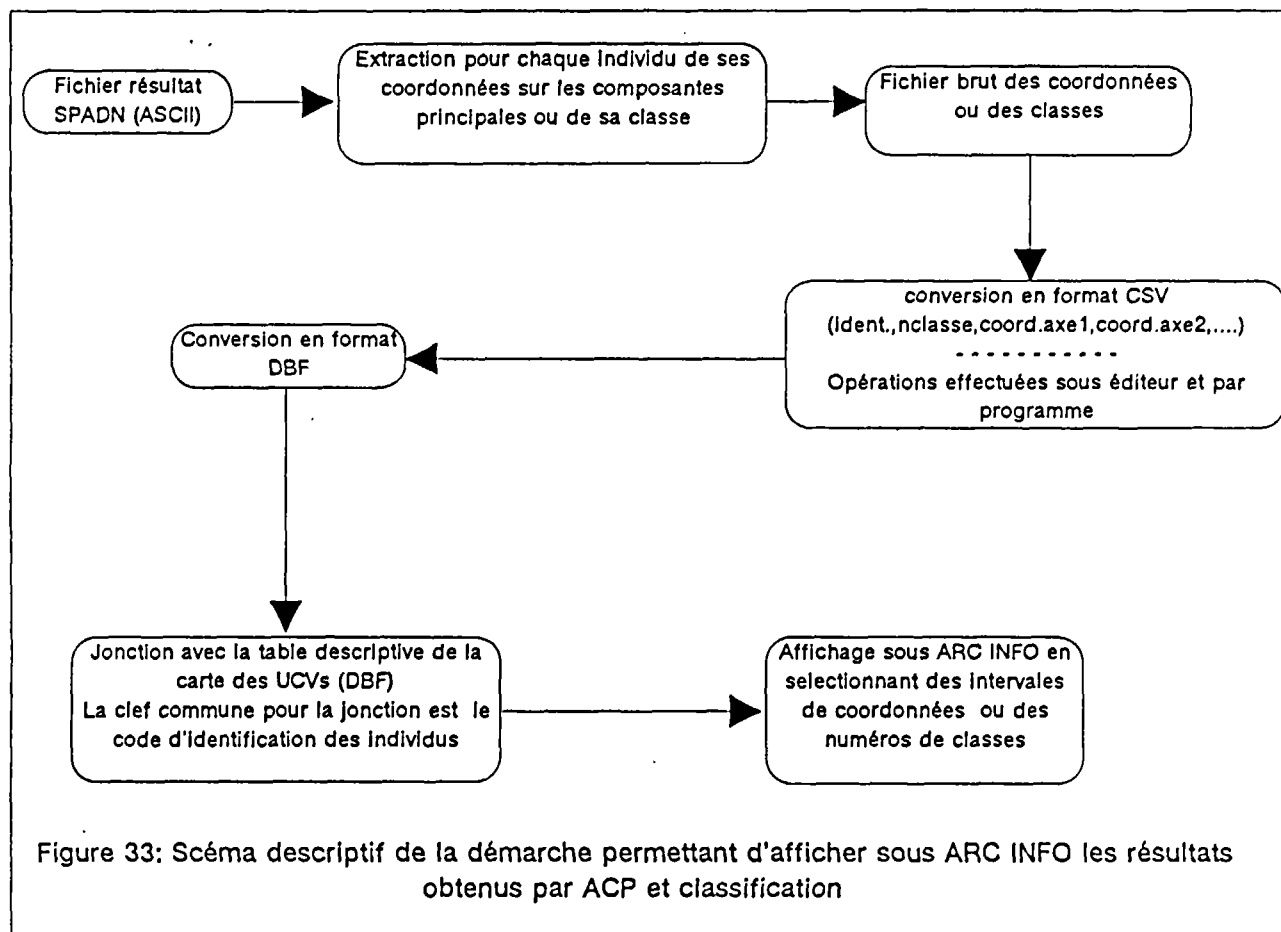
La partition initiale en 10 classes demandée est obtenue en retenant les 10 classes les plus abondantes. Une onzième classe, dite résiduelle regroupe les individus des 34 classes non vides restantes.

La seconde phase de la classification est de nature hiérarchique et conduit à la construction d'un arbre d'agrégation ou dendrogramme, représenté à la figure 35 et décrit par le tableau 12-a. Cette description indique pour chaque noeud de l'arbre, son indice de niveau, c'est-à-dire la perte d'inertie inter-classes occasionnée par la création du noeud (critère de Ward).

4.2.6.2 - Coupure de l'arbre d'agrégation - choix de la partition à décrire

L'observation de la figure 35 montre qu'une coupure entre les noeuds 18 et 19 conduit à la formation de 4 classes homogènes, et suffisamment distinctes les unes des autres. Les noeuds situés au-dessus de cette coupure (19, 20, 21) correspondent à des indices de niveau élevés ce qui implique que leur formation entraîne une perte importante d'inertie inter-classes.

L'écart avec les valeurs d'indice de niveau des noeuds situés sous la coupure est grand, ce qui souligne le caractère distinct des classes.



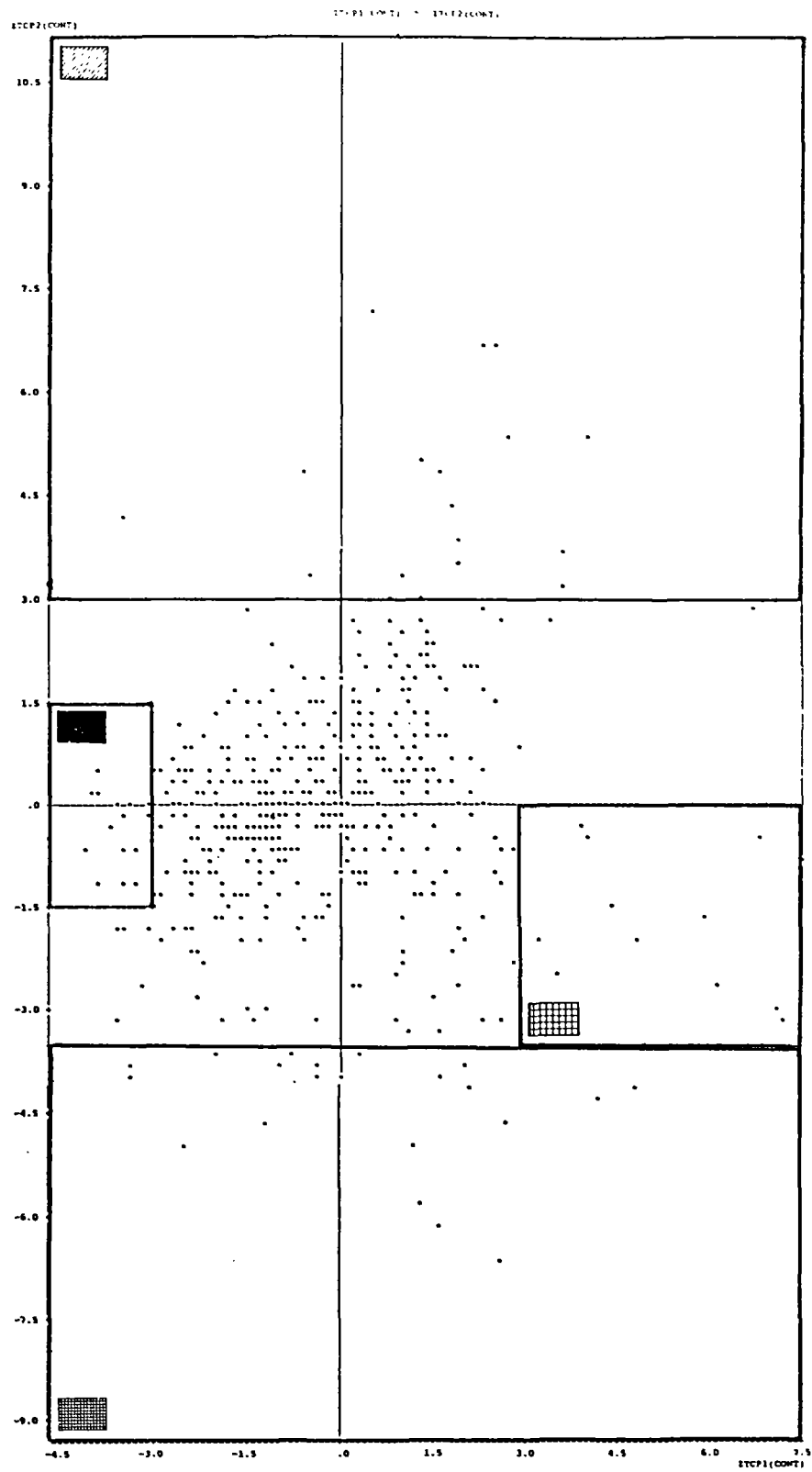


Figure 34-a: Localisation des "points versants" sur le plan factoriel principal

Figure 34: Représentation sur la zone test de quelques versants atypiques identifiés par leurs deux premières coordonnées factorielles

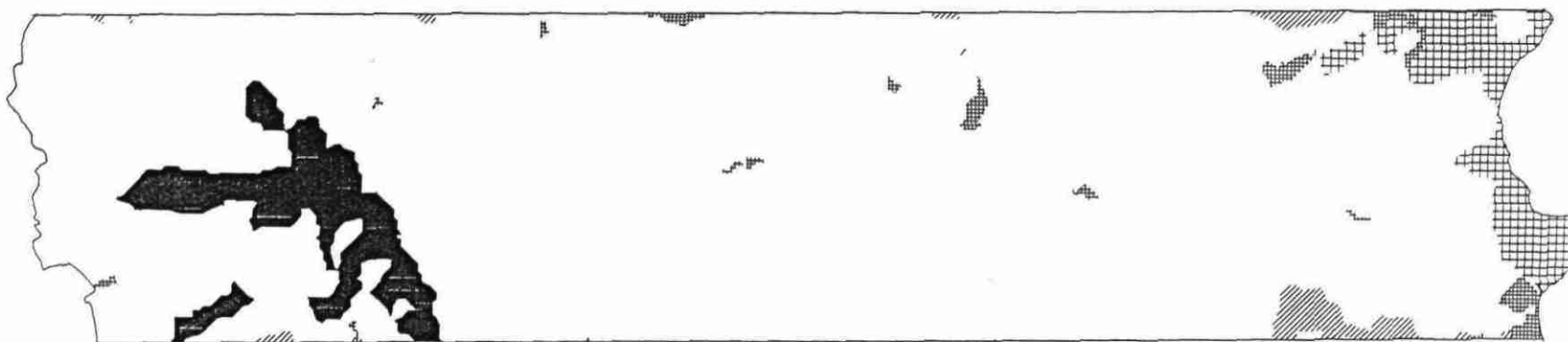
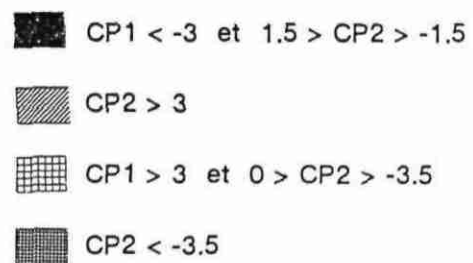


Figure 34-b: Localisation des versants sur la zone test (1/100.000)



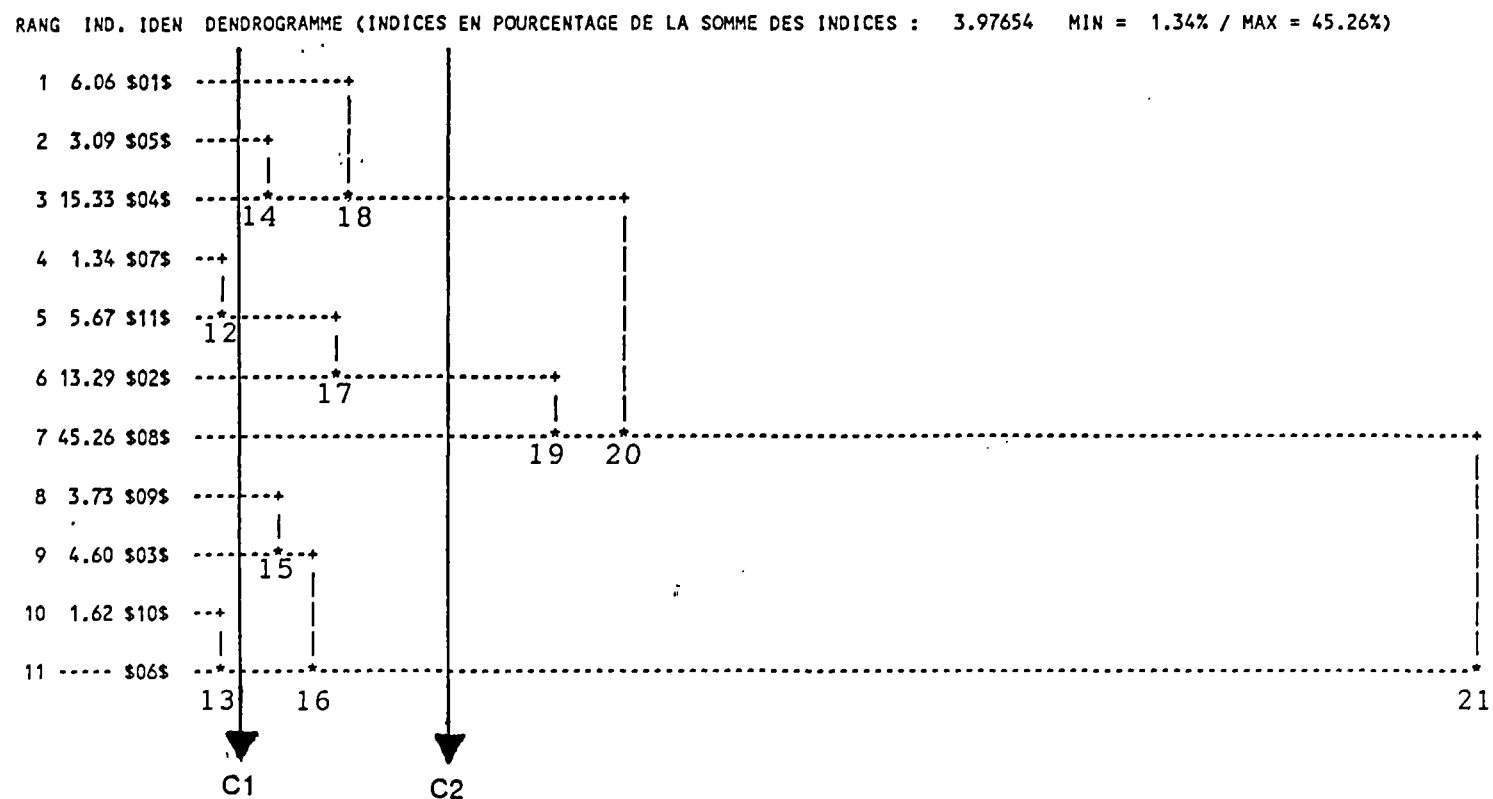


Figure 35: Arbre d'agrégation hiérarchique (données UCVs)

C1: Partition en 4 ensembles

C2: Partition en 9 classes

N.Noëuds	Poids	Indice de niveau	
12	3544	0.05336	
13	3835	0.06455	
14	7485	0.12281	
15	7579	0.14829	
16	11429	0.18303	
17	9783	0.22554	
18	13307	0.24102	
19	14074	0.52851	
20	27381	0.60969	
21	38810	1.79974	

Tableau 12-a

Ensembles homogènes issus de la partition en 4 classes	Classes	Iden. Identificateur dans la partition initiale	Poids	%Poids	Effectifs	%Effectifs
1	bb1b	\$01\$	5319	13.71	49	11.24
	bb2b	\$05\$	2525	6.51	33	7.589
	bb3b	\$04\$	3558	9.17	16	3.67
2	bb4b	\$07\$	12627	32.54	180	41.28
		\$11\$		10.14	47	10.78
	bb5b	\$02\$	3934	10.14	47	10.78
3	bb6b	\$08\$	1717	4.42	18	4.128
4	bb7b	\$09\$	1562	4.02	22	5.046
	bb8b	\$03\$	3836	9.88	36	8.257
	bb9b	\$10\$	3732	9.62	35	8.028
		\$06\$				
			38810	100	436	100

Tableau 12-b

Tableaux 12: Description de l'arbre d'agrégation hiérarchique (12-a) et des partitions (12-b) obtenus par classification des données UCVs

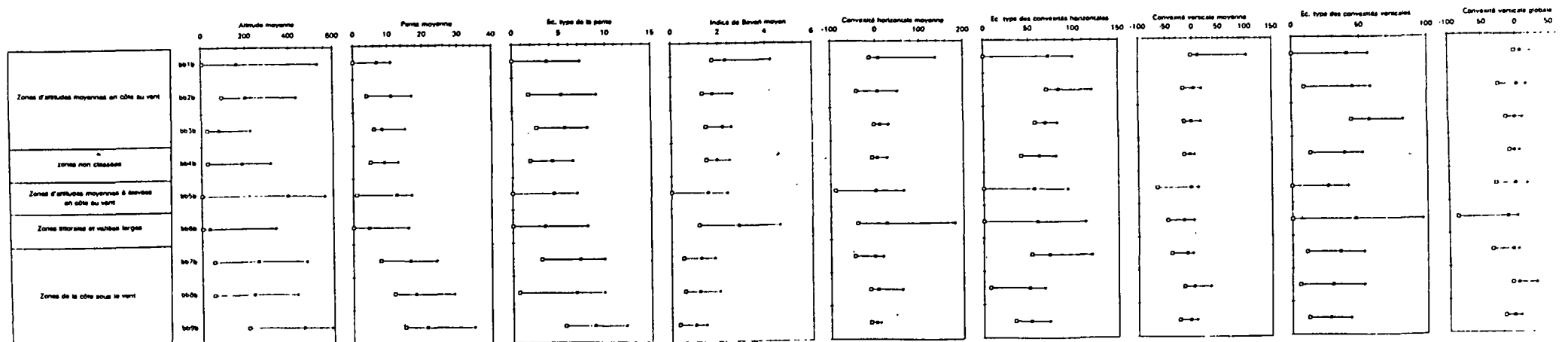


Tableau 13: Valeurs minimales, maximales et moyennes par classes de l'ensemble des variables issues des données UCVs

□:Minimum ♦:Maximun ■:Moyenne

L'homogénéité des 4 classes est attestée par le fait que les noeuds situés en dessous de la coupure ont des indices faibles et proches les uns des autres.

Compte-tenu de la géométrie du nuage de points à décrire, un nombre de 4 classes semble insuffisant pour représenter finement les données. Nous avons donc choisi de décrire une partition en 9 classes tenant compte cependant du fait que celles-ci se répartissent au sein de 4 ensembles homogènes et bien distincts (tableau 12-b).

Cette partition est obtenue en coupant l'arbre d'agrégation entre les noeuds 13 et 14 (fig. 35).

La classe représentée par le noeud 12 et qui comporte les classes \$11\$ et \$07\$ de la partition initiale sera considérée comme résiduelle (individus non classés). La classe \$11\$ est en effet la classe résiduelle de la partition initiale.

Le noeud 13 regroupe les classes \$10\$ et \$06\$. Les 7 autres classes décrites sont issues de la partition initiale.

Pour la description des classes, nous reporterons :

- au tableau 12-b ;
- à la figure 36 qui représente dans le plan principal les classes et le nuage des points "individus" ;
- à l'annexe 3-a qui donne les statistiques par classes (moyenne et écart-type) pour les 5 variables les plus caractéristiques.
- à l'annexe 3-b qui donne pour toutes variables, la moyenne, l'écart-type le minimum et le maximum correspondant à chacune des classes. Ces données sont résumées par le tableau 13.

4.2.6.3 - Description de l'ensemble 1

■ Classe bb1b

La position de cette classe dans le plan factoriel principal montre qu'elle est surtout caractérisée par des fortes valeurs positives de convexité verticales (versants à profils verticaux convexes).

Les autres caractéristiques de cette classe sont :

- des pentes moyennes avec des écart-types moyens à faibles ;

- des indices de Beven forts ;
- des écart-types de convexité verticale et horizontale moyens à forts ce qui indique des versants relativement irréguliers.

■ Classe bb2b

Cette classe est caractérisée par des valeurs moyennes à fortes de convexité verticale.

Outre ce point, elle diffère de la classe bb1b par :

- des altitudes et des pentes moyennes un peu plus élevées (bien que celles-ci restent faibles) ;
- des écart-types de convexité horizontale forte soulignant des versants à profils horizontaux très irréguliers ;
- des convexités horizontales à faibles valeurs positives.

■ Classe bb3b

Les versants représentés par cette classe présentent des valeurs moyennes de convexité verticale (valeurs proches de 0).

Les convexités horizontales ont des valeurs positives moyennes à fortes avec des écart-types moyens.

Ceci indique globalement des versants à profils horizontaux convexes relativement réguliers.

Conclusions sur l'ensemble 1

Il est caractérisé par des versants à convexités verticales positives plus ou moins fortes.

Ces versants présentent en général des pentes et des altitudes moyennes faibles ce qui est concomitant avec des valeurs d'indices de Beven moyennes à fortes.

Les convexités horizontales et leurs écart-types sont variables. Les versants sont à profils horizontaux en général convexes et irréguliers.

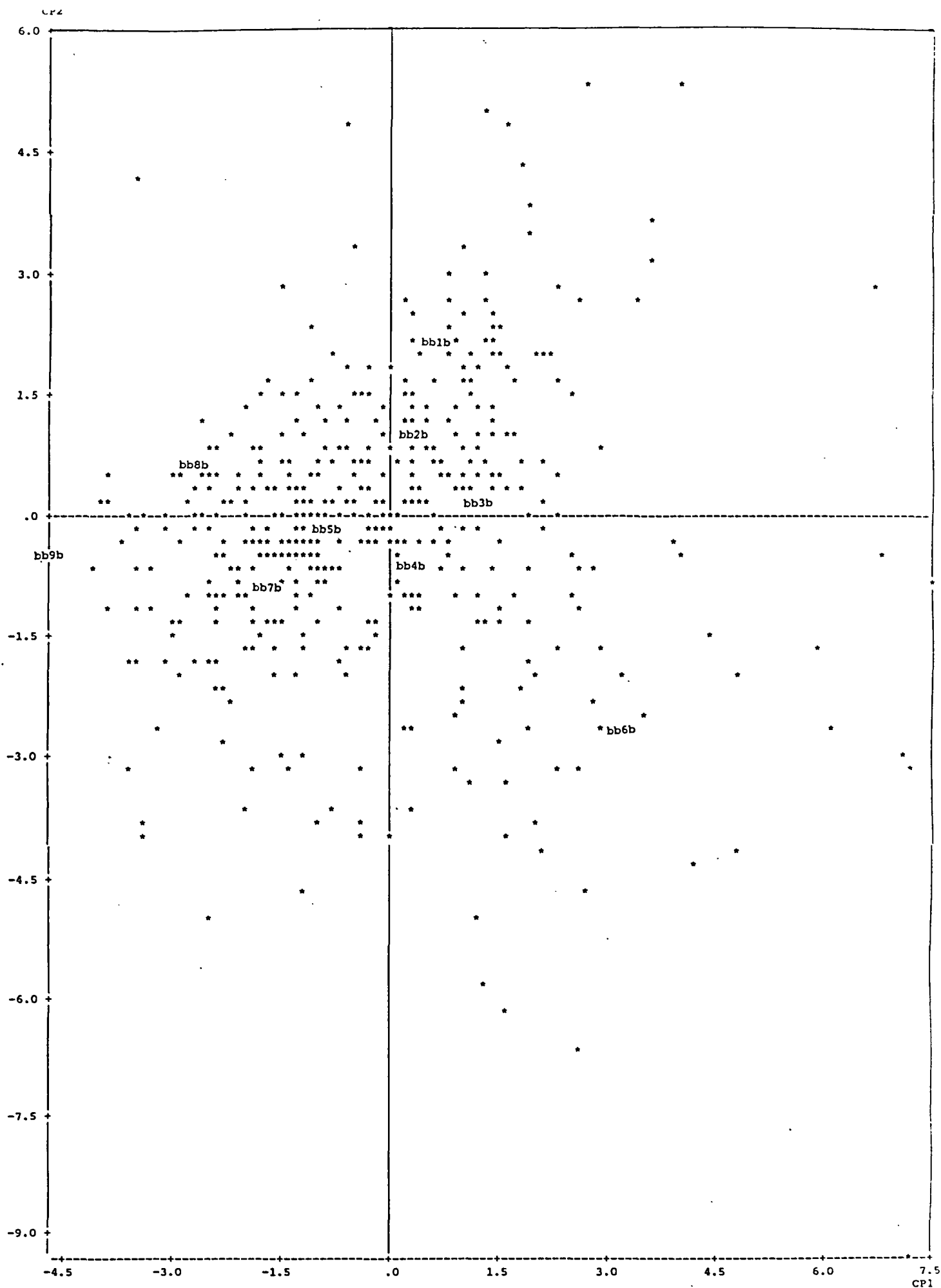


Figure 36: Représentation des individus et de la partition en 9 classes sur le plan factoriel principal de l'ACP effectuée sur les données UCVs

4.2.6.4 - Description de l'ensemble 2

■ Classe bb4b

Cette classe regroupe les individus non classés. On vérifie en annexe 2-a qu'au sein de cette classe toutes les variables présentent des écart-types forts.

■ Classe bb5b

Cette classe située près de l'origine sur le plan factoriel principal, comprend des individus présentant des valeurs moyennes à faibles pour la plupart des variables.

L'altitude moyenne des versants représentés par cette classe est cependant forte (environ 380 m).

Les convexités horizontales et verticales sont à faibles valeurs négatives (versants à profils horizontaux et verticaux légèrement concaves).

Conclusions sur l'ensemble 2

Cet ensemble regroupe d'une part les individus non classés et d'autre part des versants présentant des valeurs proches de la moyenne pour la plupart des variables.

Ces versants présentent cependant des altitudes en général supérieures à la moyenne sur la zone d'étude.

4.2.6.5 - Description de l'ensemble 3

■ Classe bb6b

Cette classe contient les individus correspondant aux versants d'altitudes et de pentes moyennes les plus faibles (fortes coordonnées positives sur la première composante principale). L'écart-type de pente est faible ce qui implique de versants réguliers.

A l'inverse, la classe bb6b est caractérisée par de fortes valeurs d'indice de Beven.

Les versants ici présentent de fortes convexités verticales négatives (profils verticaux concaves) et des valeurs positives, moyennes à fortes de convexité horizontale. L'écart-type des convexités horizontales étant moyen pour cette classe ; celle-ci représente dans la plupart des cas des versants à profils horizontaux convexes, relativement réguliers.

Conclusions sur l'ensemble 3

Cet ensemble comprend une seule classe (bb6b). Les altitudes et les pentes moyennes des versants représentées ici, sont les plus faibles de la zone d'étude.

Les profils verticaux sont concaves à l'inverse des profils horizontaux.

4.2.6.6 - Description de l'ensemble 4

■ Classes bb7b et bb8b

Ces classes ont des caractéristiques proches et regroupent des versants à altitudes et pentes moyennes à fortes (indices de Beven moyens à faibles). La différence entre les 2 classes est due pour une faible part à un écart-type de pente un peu plus élevé pour bb7b, et pour une large part à l'opposition entre convexités verticales négatives et positives.

La classe bb7b représente les versants à profils verticaux concaves et inversement.

La classe bb8b représente les versants les plus réguliers en raison de faibles valeurs d'écart-types des convexités horizontales et verticales.

■ Classe bb9b

La pente, l'écart-type de la pente et l'altitude des versants représentés dans cette classe ont des valeurs fortes.

Les convexités verticales et horizontales sont nulles ou faiblement négatives (versants concaves).

Compte-tenu des valeurs fortes d'écart-types de pente, on peut supposer que les versants présentent en général une morphologie irrégulière.

Conclusion sur l'ensemble 4

Les versants représentés ici ont des altitudes et des pentes moyennes à fortes.

Les profils verticaux sont variables (les 3 classes de l'ensemble 4) représentent des convexités nulles, des profils convexes et concaves). Notons qu'aux altitudes les plus élevées les écart-types de pentes sont à valeurs fortes ce qui indique une morphologie très irrégulière.

4.2.6.7 - Représentation des classes sur la zone d'étude (fig. 37 et 38)

L'opération permettant la visualisation des classes sur la zone d'étude sous ARC/INFO est décrite à la figure 33.

On constate que les 4 ensembles distingués par des couleurs différentes, présentent une logique de répartition géographique (fig. 37) :

- l'ensemble 1 (zones rouges) couvre largement les zones de moyenne altitude en côte au vent ;
- l'ensemble 2 (zones noires) outre les versants non classés, concerne majoritairement les zones hautes de la zone d'étude situées en côte au vent ;
- l'ensemble 3 (zones vertes) couvre principalement, les régions littorales en côte au vent ;
- l'ensemble 4 enfin (zones jaunes) représente la côte sous le vent.

Un examen plus détaillé de la répartition des classes au sein des différents ensembles permet d'affiner l'interprétation :

■ Ensemble 1

Trois classes sont distinguées au sein de l'ensemble 1. La classe bb3b correspond à des versants présentant des sommets plans légèrement inclinés vers le NE. Ces versants appartiennent à des vallées situées immédiatement à l'ouest des plaines littorales (fig. 38-a).

Les classes bb1b et bb2b (fig. 38-a) sont situées à des altitudes sensiblement identiques. Leur localisation sur la carte IGN (n° 4605G) de la Basse-Terre, à 1/25.000 montre qu'elles correspondent à des morphologies très différentes.

Les zones hachurées en rouge (classe bb2b) comprennent le bassin versant de la rivière Lézarde au-dessus de la côte 60 m et le demi bassin versant nord de la rivière Bras-David. Ces zones présentent des courbes de niveau souvent très resserrées. Elles contrastent avec les régions couvertes par la classe bb1b qui correspond à des reliefs plus "mous" (courbes de niveaux très espacées).

■ Ensemble 2

Cet ensemble comprend la classe bb5b. Celle-ci couvre largement des zones d'altitude moyennes à élevées situées en côte au vent. On constate cependant que des zones présentant la même morphologie sont situées en côte sous le vent au N-W de la zone d'étude.

■ Ensemble 3

L'ensemble 3 (classe bb6b) concerne les zones plates côtières et les vallées larges (fig. 38-a). L'extension vers l'ouest des zones représentées en vert correspond aux vallées des rivières Moustique et Lézarde.

Les zones situées au centre et au nord de la zone d'étude correspondent à la rivière Bras-David et à la Grande Rivière à Goyave.

Les zones situées au sud-ouest de la zone correspondent à des zones plates situées au niveau des quartiers Malendure et Galets. Elles constituent l'exutoire des ravines Moustique et Cani.

■ Ensemble 4

Il concerne presque exclusivement la côte sous le vent. La classe bb9b (fig. 38-b) couvre des zones situées immédiatement à l'ouest du massif des Mamelles et présentant un relief très "accidenté" (ravines encaissées, courbes de niveau très resserrées, fortes pentes). La classe bb8b correspond à des versants qui, sur la carte IGN à 1/25.000 (fig. 38-b), paraissent très réguliers (peu de variations dans les profils verticaux et horizontaux).

La classe bb7b est celle qui présente la plus grande hétérogénéité spatiale. L'observation de la carte IGN à 1/25.000 (fig. 38-b) ne permet pas de la distinguer "visuellement" de la classe bb8b.

4.2.7 - Conclusions

L'examen de la matrice et du cercle des corrélations offre des résultats très satisfaisants : il est en effet possible d'apprécier globalement l'interdépendance des variables étudiées. De tels résultats peuvent permettre de mieux évaluer la pertinence des méthodes de zonage de l'aléa mouvements de terrain basées sur la constitution de règles empiriques combinant plusieurs variables.

L'analyse des relations entre les variables utilisées a permis de mettre en évidence la redondance entre la pente et l'indice de Beven. Le poids de la pente dans le calcul de cet indice est donc largement prépondérant.

**Voir calque
dans document
papier**

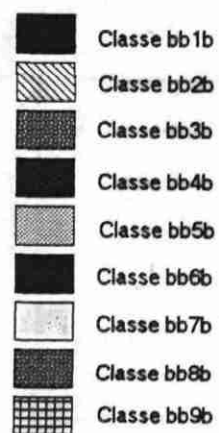
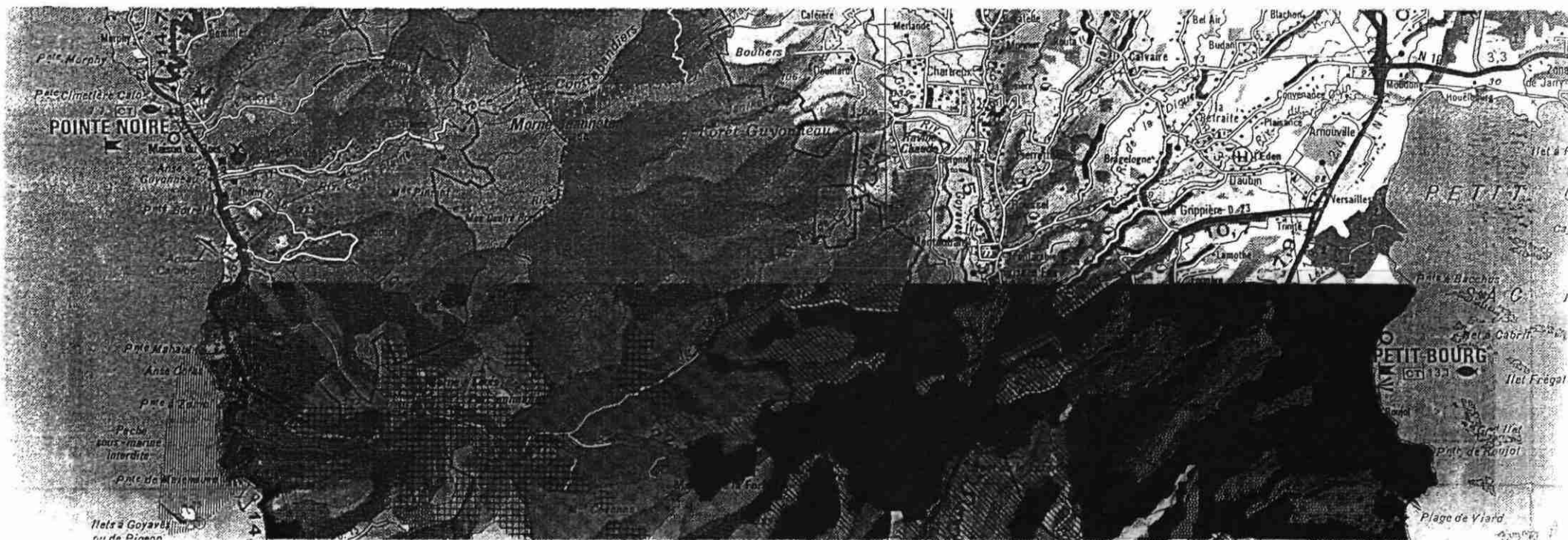


Figure 37: Représentation des résultats de la classification des données UCVs sur la zone test (1/100.000)

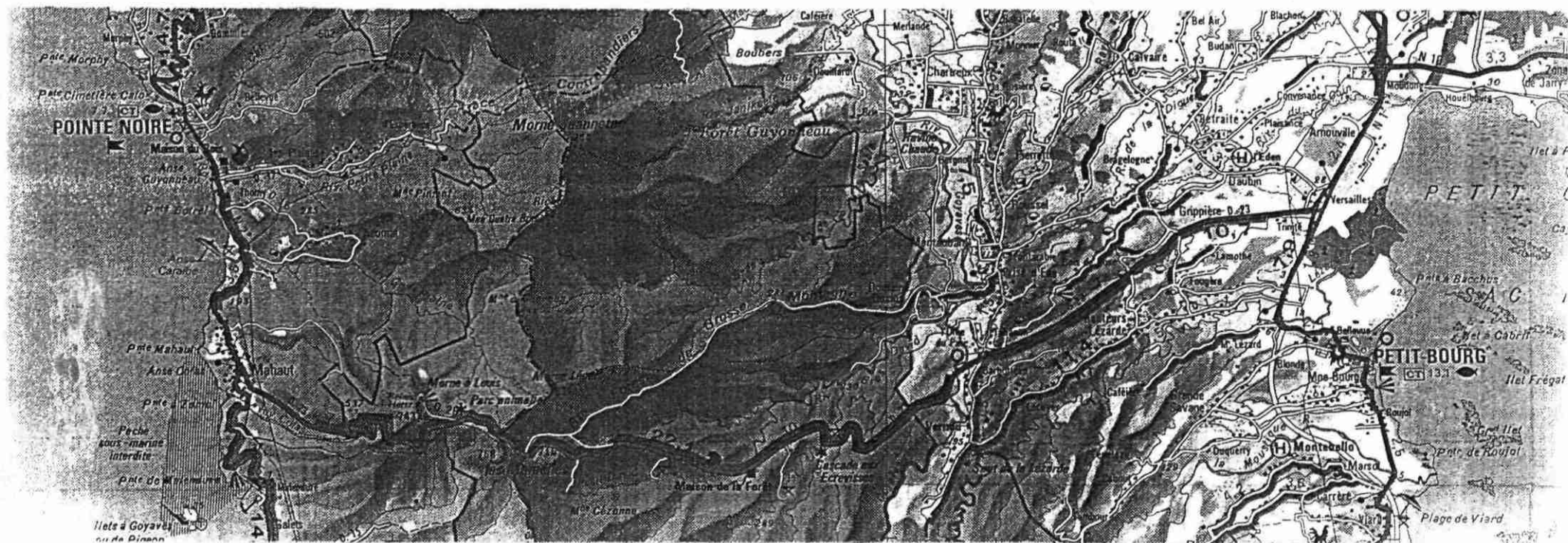


Figure 37: Représentation des résultats de la classification des données UCVs sur la zone test (1/100.000)

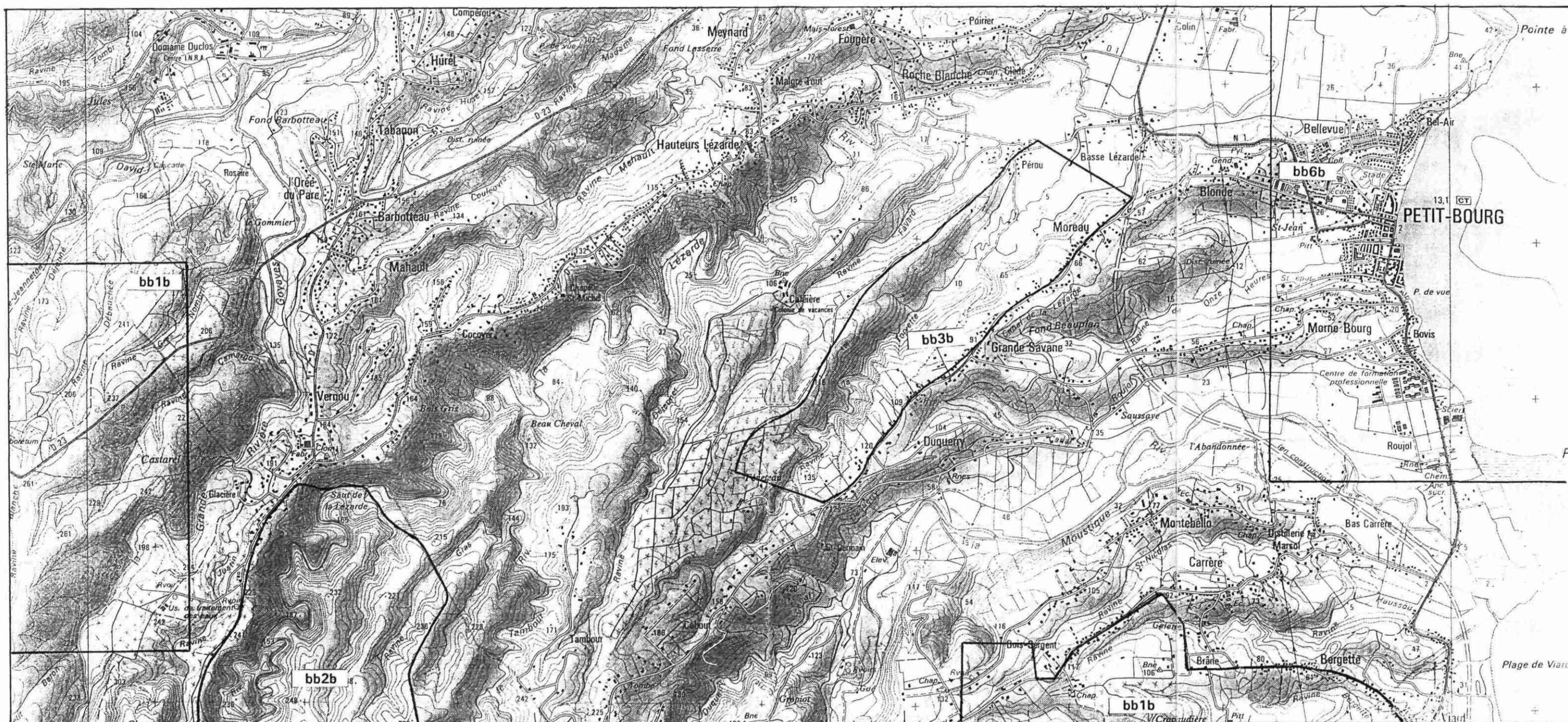


Figure 38-a: Extrémité est de la zone test

Figure 38: Visualisation de quelques extraits des classes déterminées par ACP, sur le fond IGN n° 4605G à 1/25000 de la Guadeloupe

Les variables concernant la pente et son écart-type sur les UCVs d'une part et la convexité verticale moyenne et la convexité verticale globale d'autre part sont également redondantes.

L'étude effectuée ici concerne une zone d'extension limitée de la Basse-Terre. Une généralisation à l'ensemble de l'île implique la constitution d'une base de données volumineuse et des temps de calcul importants. L'identification de 3 variables redondantes qui ne seront pas nécessaires pour la description des données est particulièrement intéressante. La non considération de 3 des variables permettra d'alléger de 30 % environ les temps de calcul.

Il conviendra cependant de vérifier en d'autres points de la Basse-Terre si les résultats sont identiques, ce qui permettrait de confirmer la représentativité de la zone test.

La visualisation des individus "versants" sur le plan factoriel principal de l'ACP montre un nuage de point présentant un noyau homogène qui comprend la majorité des individus. La périphérie du nuage est composée de points présentant une plus grande dispersion.

Ces points, par leur situation sur le plan factoriel principal et leur faible nombre, sont considérés comme représentant des versants atypiques à morphologie particulière.

Nous avons mis au point une démarche permettant d'afficher sous ARC/INFO, un versant quelconque d'après les coordonnées factorielles du point correspondant. Il est donc possible de localiser sur la zone d'étude les versants jugés atypiques, afin de permettre ensuite, au cours d'une phase ultérieure des travaux, de caractériser ces versants sur le terrain et d'analyser leurs éventuelles relations avec les mouvements de terrain.

La signification des composantes principales en fonction de variables étudiées permet d'interpréter la position des individus dans le plan factoriel principal, en terme d'associations de caractères morphologiques. Il est cependant difficile, du fait de la géométrie du nuage de points, de délimiter objectivement des groupes homogènes et distincts d'individus.

La classification automatique effectuée à partir des résultats de l'ACP a permis de décrire finement les données. 4 ensembles homogènes ont été mis en évidence au sein desquels 9 classes sont décrites en termes d'associations de paramètres morphologiques.

La visualisation des résultats sur la zone d'étude met en évidence une logique de répartition géographique des classes. Celles-ci sont donc homogènes géomorphologiquement et spatialement. L'évaluation des résultats de la classification sur la carte IGN à 1/25.000, permet de vérifier visuellement la nature différente des unités délimitées.

La recherche d'unités cartographiques homogènes, afin de décrire le milieu physique, est utilisée pour diverses applications (Speight, 1977 ; Dewolf, 1987 ; Meijerink, 1988 ; Deroin et al., 1990), notamment pour l'évaluation de l'aléa mouvements de terrain (Verstappen, 1983 ; Bocoo et al., 1990 ; Carrara, 1992 ; Reugers et Soetter, 1992 ; Van Westen, 1992).

Elles sont utilisées dans ce cas comme entités de base destinées à supporter plusieurs niveaux d'information élémentaire ou à être corrélées avec les mouvements de terrain.

Leur délimitation, dans la quasi-totalité des cas, est obtenue manuellement par photo-interprétation, qu'il s'agisse de photographies aériennes ou d'images satellitaires.

Une telle démarche implique une part d'imprécision et de subjectivité liée à l'opérateur. Elle devient également problématique lorsque le territoire à étudier couvre une surface importante.

Carrara (1992) mentionne deux autres méthodes conduisant à la délimitation d'unités cartographiques.

- La première se limite à l'élaboration de cartes d'Unités Cartographiques de Versants (UCVs).
- La seconde consiste à superposer différentes cartes de facteurs d'instabilités préalablement réduites à quelques "classes significatives" ce qui implique une part de subjectivité liée à la fois au choix des cartes de facteurs et à la détermination des classes.

Cette synthèse effectuée sur les méthodes utilisées pour délimiter des unités cartographiques homogènes, souligne l'intérêt méthodologique de la démarche mise en oeuvre pour la description objective et automatique d'unités morphologiques au sein de la zone-test, à partir de statistiques multi-dimensionnelles.

A partir de la démarche mise au point, on peut en effet envisager :

- une généralisation de l'ACP à l'ensemble des UCVs de l'île de Basse-Terre ;
- une meilleure application des méthodes de zonage des mouvements de terrain par analogies. Basées sur le principe de la similarité des

événements (mêmes causes, mêmes effets), elles consistent à rechercher sur le territoire étudié les combinaisons de paramètres ayant conduit à des mouvements de terrain.

La mise en oeuvre d'une telle démarche peut être problématique lorsque les paramètres recherchés n'ont pas tout à fait les mêmes valeurs que dans les zones instables. Elle l'est également pour des zones étudiées vastes. Si on peut démontrer qu'à une unité géomorphologique homogène est plus particulièrement affectée un type de mouvements de terrain, on pourra en conclure qu'elle présente un niveau d'aléa élevé pour ce type d'instabilité.

On évite ainsi de rechercher de manière exhaustive sur le territoire étudié, une combinaison précise de paramètres. La recherche est en effet effectuée au sein d'une unité laquelle est définie par des intervalles de valeurs correspondant aux différents paramètres morphologiques pris en compte.

On peut cependant envisager également de rechercher, au sein d'une unité homogène une combinaison donnée de paramètres morphologiques associée à un mouvement de terrain connu, lorsque celui-ci est situé au sein de l'unité.

D'autres variables permettent de caractériser le milieu (géologie, végétation, pédologie...) leur nature nominale les exclue du cadre de l'Analyse en Composantes principales.

Une description de la zone test par analyse Factorielle des correspondances multiples, englobant l'ensemble des variables caractérisant le milieu (paramètres morphologiques et thématiques) sera effectuée au chapitre suivant.

La morphologie étant l'expression de l'interaction des différents paramètres thématiques, la description du milieu, uniquement sur des critères morphologiques peut être considérée en première approche comme pertinente.

Il sera nécessaire d'analyser les relations entre les unités géomorphologiques et celles issues des paramètres thématiques, afin de comprendre comment ces derniers conditionnent la topographie.

4.3 - Analyse des Correspondances Multiples sur l'ensemble des variables de la base de données

4.3.1 - Introduction

Le milieu naturel peut être défini par une association complexe de plusieurs caractères. La nature de ce milieu (type de relief, nature des sols, morphologie des versants, végétation...) en un point donné n'est pas fortuite, mais est le résultat de processus précis, conduisant à une association cohérente de différents caractères.

On peut donc chercher, sur un territoire donné, à réduire la complexité mal définie du milieu naturel en un nombre limité d'ensembles moins complexes, pour lesquels il est alors plus aisé de comprendre la logique d'association des caractères décrivant le milieu.

C'est ce que nous proposons de réaliser sur notre zone d'étude au sein de laquelle différentes unités cartographiques sont caractérisées par un ensemble de 21 variables.

Cette démarche comporte deux phases :

- la première consiste à analyser les données, en décrivant les relations entre variables et en identifiant celles qui sont les moins caractéristiques du milieu. L'outil statistique permettant de répondre le mieux à cet objectif est l'Analyse Factorielle des correspondances qui permet de traiter un tableau de données volumineux et d'étudier conjointement des variables nominales et continues (après discrétisation de celles-ci) ce qui est le cas de nos variables ;

- la seconde phase consiste à formaliser les similarités entre individus, variables et modalités de variables mises en évidence lors de la phase descriptive, sous forme d'ensembles homogènes obtenus par classification automatique.

4.3.2 - Principe de l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples

4.3.2.1 - Présentation de la méthode

Notre propos ici n'est pas de faire un exposé exhaustif de la méthode. Nous proposons une présentation générale et rapide d'après Benzecri (1979), Bouroche et Saporta (1987).

L'Analyse Factorielle des correspondances peut être considérée comme un algorithme de réduction des données fournissant des images déformées et simplifiées de la réalité multi-dimensionnelle. Elle constitue l'équivalent

d'une ACP effectuée sur un tableau où les variables représentées seraient qualitatives.

Proposé initialement pour l'étude des tableaux de contingence (croisement de deux variables nominales), l'analyse des correspondances a été généralisée par la suite à l'étude d'un nombre quelconque de variables, contenues dans un tableau croisé individus x variables tel que celui que nous étudions. Dans un tel tableau une case "i, j" donnée représente la modalité de la variable "j" correspondant à l'individu "i".

Ce tableau peut être traduit sous forme d'un tableau individus x modalités (tableau d'indicatrice) de nature binaire où chaque case indique la présence ou l'absence d'une modalité. Les tableaux de ce type respectent les propriétés des tableaux de contingence dont ils sont un cas particulier.

Dans un tel tableau, les lignes et les colonnes jouent des rôles symétriques. L'analyse Factorielle des correspondances conduit à la représentation simultanée des points de deux ensembles, ensemble des individus, ensemble des modalités dans un même espace de dimension restreinte, tout en respectant au mieux les "proximités" ou distances entre les points de deux ensembles. Les modalités sont représentées par le centre de gravité des individus qui les possèdent.

L'analyse du double nuage des points individus et des points modalités repérés dans les plans principaux significatifs engendrés par les axes d'élongation maximale du nuage, permet de définir des classes d'individus homogènes, si elles existent, de caractériser ces classes, de déterminer les liaisons entre modalités de variables et de donner une interprétation.

Cette méthode utilise une métrique spéciale pour définir la distance entre les éléments étudiés : la distance du Chi-deux.

Soit un tableau de p individus x q modalités :

. n_{ij} représente l'effectif de la case correspondant à la modalité j et à l'individu i ;

. N est l'effectif total du tableau ;

. L_j est l'effectif de la colonne j (somme des effectifs correspondant à la modalité j).

Le Chi-deux est donné, entre deux individus a et b du tableau, par :

$$d^2X^2 (L_a, L_b) = \sum_{j=1}^q N/L_j [(n_{aj}/L_a - n_{bj}/L_b)]^2$$

En pondérant chaque modalité par l'inverse de son importance sur l'ensemble des individus, on évite de négliger pour le calcul des distances entre individus, les modalités à faible effectif par rapport aux modalités à fort effectif.

La distance du Chi-deux entre individus possède la propriété de ne pas être modifiée lorsqu'on regroupe les effectifs correspondants à 2 modalités liées par une relation de proportionnalité (équivalence distributionnelle).

Cette métrique est également utilisée pour calculer les distances entre modalités.

Muni de la distance du Chi-deux, il devient possible de trouver un système réduit d'axes rendant compte de la forme du nuage. La projection de ce nuage sur les plans principaux définis par les axes d'allongement maximal, déforme le moins possible les distances entre les points représentatifs des individus.

Le premier axe cherché, celui qui déforme le moins le nuage, sera celui pour lequel la somme des carrés des projections des points du nuage sera la plus élevée. On démontre que cela revient à rechercher la plus grande valeur propre de la matrice de covariance, celle-ci exprimant les liaisons entre modalités prises deux à deux. A cette valeur propre est associée le vecteur propre direction de l'axe ajustant au mieux le nuage.

Il suffira ensuite de prendre les valeurs propres par ordre décroissant. Les vecteurs propres associés à celles-ci correspondent aux différents axes du nouveau système réduit et sont orthogonaux deux à deux.

4.3.2.2 - Représentations graphiques et interprétation des données

Les représentations graphiques constituent les résultats les plus significatifs de l'AFC. Ils permettent d'analyser visuellement la répartition des individus et des modalités sur différents plans factoriels et contribuent à l'interprétation des axes.

Leur dépouillement et donc implicitement l'interprétation des axes ne peut se faire sans précaution. Deux séries de coefficients sont calculés pour les éléments représentés afin de faciliter les interprétations :

- les contributions des éléments représentés (individus, modalités) aux différents axes ou contributions absolues ;
- les proximités entre les éléments représentés et les axes ou contributions relatives.

Avant de définir ces coefficients, précisons auparavant ce qu'est l'inertie d'un axe :

■ Inertie d'un axe : chaque axe est caractérisé par son inertie c'est-à-dire par la somme des produits des carrés des coordonnées des points du nuage pondérés par leurs poids, divisée par la somme des carrés des distances pondérées des points au centre de gravité du nuage.

Ce rapport sera d'autant plus grand que la somme des carrés pondérés des coordonnées se rapprochera de la somme des carrés pondérés des distances des points au centre de gravité. On voit donc que dans le sens d'allongement maximal du nuage l'inertie sera la plus élevée.

A l'inertie la plus grande correspond la valeur propre la plus élevée.

■ Contribution absolue. Elle est égale à :

$[\text{poids} \times (\text{coordonnée})^2] / \text{valeur propre}$

Elle exprime la part prise par une variable ou un individu dans l'inertie expliquée par l'axe.

Les axes pourront être interprétés au mieux par les éléments ayant de fortes contributions puisque ceux-ci seront fortement intervenus dans leur construction (fig. 39).

■ Contribution relative (ou cosinus carrés de l'angle entre un individu ou une modalité et un axe donné). Elle représente la part prise par un axe dans l'explication de la dispersion d'un individu ou d'une modalité. Ceci permet de mettre en évidence les éléments qui sont les caractéristiques exclusives d'un axe (fig. 40).

La somme des contributions relatives des axes à un élément représenté (individu, modalité ou variable) est égale à 1. Plus que les contributions relatives, ce sont les contributions relatives cumulées sur plusieurs axes qui sont intéressantes. Par exemple les contributions cumulées sur les axes 1 et 2 permettent de savoir si un élément est bien représenté dans le plan principal. L'intérêt essentiel de ces contributions relatives est qu'elles permettent d'éviter les conclusions hâtives sur la proximité des points.

Citons enfin, l'utilisation des éléments illustratifs (individus ou modalités), ainsi que le rôle des variables ordonnées pour l'interprétation des axes.

■ Eléments illustratifs supplémentaires : L'utilisation d'éléments illustratifs est un outil précieux pour l'interprétation des graphiques de l'AFC. On appelle élément supplémentaire un individu ou une modalité qui n'entre pas dans le calcul des axes d'inertie du nuage mais que l'on fait figurer sur

les sorties graphiques. Ces éléments supplémentaires ont généralement un comportement caractéristique et servent à "baliser" les graphiques.

■ **Cas de variables ordonnées :** Il arrive fréquemment que les modalités d'une variable soient ordonnées (c'est le cas des classes d'altitude par exemple). Cela se produit en général chaque fois que les modalités sont obtenues par découpage en classes d'une variable continue. Il est alors très utile de relier sur les graphiques de l'AFC chaque classe à la classe suivante par une flèche et d'observer si la chaîne ainsi formée a une orientation nette.

4.3.3 - Méthode de classification utilisée

La méthode de classification utilisée est de type mixte. Elle comporte une phase initiale effectuée selon la méthode des centres mobiles, complétée par une agrégation hiérarchique des classes. Cette méthode utilisée précédemment pour classer les données issues de l'ACP est décrite au paragraphe 4.2.3.

4.3.4 - Le tableau de données

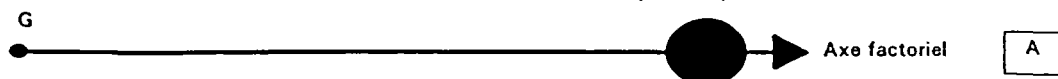
L'Analyse des Correspondances Multiples s'applique à l'ensemble des variables du tableau de données considéré pour la zone-test. Ce tableau présente 9262 individus caractérisés par une variable continue (SURFACE) et 21 variables nominales totalisant 190 modalités (cf paragraphe 2.4 - Les données sources pour les analyses statistiques). La variable TSTYP représentant l'ensemble des sous-types pédologiques issus de la carte des sols à 1/20.000 est la plus importante et totalise 56 modalités.

Pour des raisons techniques (dépassement de capacité en mémoire centrale), l'analyse est impossible sur l'ensemble des 9262 individus. Nous avons éliminé, les 1262 individus présentant les surfaces les plus faibles. Ces individus dont la surface n'excède pas 0,02 ha résultent du nombre important de cartes à l'origine du tableau de données et du caractère aléatoire de leur croisement. Ils sont donc considérés comme non significatifs. Par exemple le croisement de deux cartes différentes, présentant des limites de polygones proches mais non superposables parfaitement, va générer un nombre important de petits polygones parasites.

Cette opération effectuée sous DBASE 3 a consisté à ordonner le fichier par surface décroissante et à éliminer les 1262 derniers enregistrements. Le fichier restant compte donc 8000 individus.

Centre de gravité de
l'ensemble des individus
ou modalités

Individu ou modalité ayant
un poids important



Individu ou modalité ayant
un poids faible

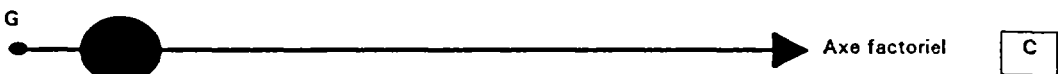


Figure 39: Représentation schématique de 4 cas de contributions absolues

A - Contribution absolue importante

B - Contribution absolue faible

C - Contribution absolue faible

D - Contribution absolue négligeable

Centre de gravité de
l'ensemble des individus
et modalités

Individu ou modalité



Individu ou modalité



Figure 40: Représentation schématique de 2 cas de contributions relatives

A - Contribution relative élevée ($\cos^2 a$ élevé)

B - Contribution relative faible ($\cos^2 a$ faible)

Comme il a été vu au paragraphe 4.1 (outils informatiques et structure des données), l'utilisation de SPAD-N nécessite la conversion du fichier de données du format DBASE en format libre, et la création d'un fichier dictionnaire décrivant les données.

Le tableau 3 présente un extrait du fichier au format DBASE. Le même extrait en format libre est fourni au tableau 14.

Le dictionnaire associé est donné en annexe 4.

4.3.5 - Analyse des données de la zone-test

4.3.5.1 - Introduction

L'analyse des correspondances multiples est effectuée en deux itérations.

- La première itération effectuée, avec la totalité des 21 variables afin d'apprécier en première approche, l'inertie des différents axes et les contributions des différentes modalités aux axes. Cette phase a pour but de mettre en évidence les variables les moins significatives qui ne participeront pas à la construction des axes à la seconde itération. Les 6 variables issues de la carte des sols à 1/20.000 feront l'objet d'un examen particulier. Ces variables sont issues en effet d'une même carte (informations redondantes) et deux d'entre elles présentent un nombre élevé de modalités (TSTYP - 56, PRTYP-25) nettement supérieur à celui des autres variables.

- La seconde itération, qui ne concerne que les variables jugées les plus significatives, permet une analyse plus riche dont les résultats seront interprétés en détail.

Remarque : la variable SURFACE du tableau de données ne participe directement aux AFCs. Elle détermine en fait le poids des individus participant aux analyses. Ceux-ci sont en effet issus de la carte des UCPs et ont des surfaces très variables. Les considérer pour les AFCs avec un poids identique égal à 1 ne serait pas représentatif de la réalité. Leurs poids est donné par leur surface. De même, le poids d'une modalité est donné par la surface cumulée des individus caractérisés par cette modalité.

4.3.5.2 - Première itération : Analyse préliminaire

Pour cette première analyse, l'édition des valeurs propres montre que les 5 premiers axes rendent compte de 18,2 % de l'inertie totale de l'ensemble des individus. L'annexe 5 indique pour toutes les modalités, variable par variable, les coordonnées, contributions et cosinus carrés (contributions relatives) pour les axes factoriels 1 à 5. La contribution absolue de chaque variable aux axes est donnée en additionnant les contributions des modalités qu'elles comportent. A partir de ce tableau, nous avons reporté pour chaque axe, la contribution absolue de chaque variable (tableau 15).

Les variables contribuant à moins de 3 % de l'inertie pour chaque axe ont été repérées (cases grisées). On constate alors que les variables 8, 9, 19 et 20 contribuent très peu sur l'ensemble des 5 premiers axes factoriels. Les variables 5, 6 et 7 contribuent peu à 4 axes sur 5.

Il s'agit donc des variables les moins discriminantes puisqu'elles participent peu à la construction des axes qui présentent les plus grandes variabilités. Ce sont des variables dont les modalités correspondent à des individus présentant une répartition uniforme sur le territoire étudié et/ou ayant un poids cumulé faible. C'est le cas par exemple de la variable 19 (colluvions) dont la modalité col1 (présence de colluvion) ne représentant que 2,73 % de la surface des individus, est peu significative. La modalité col0 (absence de colluvions) de cette même variable présente un poids fort (97,27 % de la surface des individus) mais couvre la quasi-totalité de la zone d'étude.

Les variables 5, 6, 7, 8, 9, 19 et 20 sont les suivantes :

V5 : écart-type de la pente pour chaque UCV ;
V6 : convexité horizontale moyenne ;
V7 : convexité horizontale - écart-type ;
V8 : convexité verticale moyenne ;
V9 : convexité verticale - écart-type ;
V19: colluvions (carte des sols à 1/20.000) ;
V20: halloysite (carte des sols à 1/20.000).

Ces variables seront considérées comme illustratives pour l'analyse des correspondances qui fera l'objet d'une interprétation en détail. Elles ne participeront donc pas à l'analyse mais pourront être représentées par rapport aux différents axes factoriels.

Intéressons-nous au cas des variables issues de la carte des sols à 1/20.000 (Colmet Daage, 1970). Il s'agit des variables PEDO 20 (séries pédologiques de la carte), PRTYP (principaux types des séries pédologiques), TSTYP (sous-types de la carte), MORPH (modélé), COLLUV et HALLOY. Ces deux dernières variables qui correspondent à des sous-

CI	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21
'7761'	1.93	3	3	2	2	4	4	3	2	3	3	4	2	1	7	2	6	29	2	2	7
'8565'	1.94	8	2	6	5	4	3	3	2	5	1	6	7	6	6	3	4	56	2	2	25
'1174'	1.96	8	2	4	3	4	2	4	2	5	2	5	6	4	7	3	2	52	2	2	19
'8252'	1.97	1	3	5	4	4	3	3	2	5	1	4	2	6	7	3	6	32	2	1	9
'8425'	1.98	8	2	6	5	4	3	3	2	5	1	5	4	4	6	3	4	42	2	2	17
'3265'	1.99	2	1	2	4	5	3	4	3	6	3	1	2	2	7	2	3	13	1	2	7
'6474'	2.00	7	1	2	2	5	4	4	2	5	3	1	2	2	7	1	3	12	2	2	6
'7483'	2.01	1	3	5	5	3	3	2	2	3	2	6	7	6	7	3	6	56	2	2	25
'3746'	2.02	3	1	3	4	4	3	3	3	3	2	4	2	1	7	2	4	12	2	2	6
'860'	2.03	3	2	2	2	4	3	3	3	6	3	1	3	2	7	2	3	10	2	2	4
'2677'	2.04	9	3	3	4	4	3	4	2	4	2	3	5	3	4	4	1	39	2	2	13
'7829'	2.04	9	1	4	4	3	3	1	2	1	2	5	5	2	6	3	1	40	2	2	15
'9012'	2.05	7	1	2	4	4	3	2	2	1	3	6	7	2	7	2	5	56	2	2	25
'47'	2.07	1	1	2	3	5	3	5	2	8	3	3	2	1	7	2	2	12	2	2	6
'3759'	2.07	8	1	4	4	5	2	4	2	7	2	6	7	3	4	4	1	56	2	2	25
'7327'	2.07	2	1	3	4	5	4	5	4	8	2	4	2	2	7	2	4	12	2	2	6
'4352'	2.08	1	1	1	1	4	3	3	2	2	4	2	2	1	7	2	3	12	2	1	7
'1745'	2.09	3	2	2	3	4	3	2	2	1	3	2	2	2	7	2	4	12	2	2	6
'7206'	2.10	4	5	7	4	3	2	3	2	4	1	6	7	1	8	4	8	56	2	2	25
'337'	2.12	1	1	1	1	5	3	1	3	1	4	1	1	2	7	1	2	34	2	2	11
'5659'	2.12	1	5	5	4	3	2	4	1	4	2	5	2	3	8	3	6	12	2	2	6
'7288'	2.13	7	1	3	4	4	3	2	4	2	2	1	3	1	7	1	4	5	2	2	3
'4653'	2.14	5	1	1	2	6	4	4	2	1	4	1	1	2	5	4	2	35	2	2	11
'3481'	2.15	1	1	2	2	4	2	2	3	4	3	2	2	1	7	2	3	12	2	2	6
'8606'	2.16	4	5	6	4	3	3	3	1	3	1	6	7	1	8	3	8	56	2	2	25
'1812'	2.18	3	2	2	3	4	4	2	2	2	2	4	2	2	7	4	4	19	2	2	7
'4210'	2.18	3	2	3	3	4	4	5	3	8	2	6	7	1	7	2	4	56	2	2	25
'6630'	2.19	1	1	2	2	5	3	3	2	4	3	2	2	2	7	1	3	12	2	2	6
'9008'	2.20	1	1	2	2	6	3	5	1	8	3	4	2	2	7	1	3	12	2	2	6

Tableau 14: Extrait du fichier en format libre associé aux données UCPs
(Pour la signification des codes, cf. dictionnaire en annexe 3)

CI : Code d'identification	V11: MOYBEV
V1 : Surface des UCPs	V12: MORPH
V2 : PEDO150	V13: PEDO50
V3 : MOYZ	V14: GEOL50
V4 : MOYP	V15: TYPVEG
V5 : SPENT	V16: VEGNAT
V6 : MOYCOH	V17: PLUIE
V7 : SCOH	V18: TSTYP
V8 : MOYCOV	V19: COLLUV
V9 : SCOV	V20: HALLOY
V10: CVG	V21: PRTYP

		VARIABLES																				
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
AXES	1	7.80	6.70	7.80	3.00	4.70	0.60	2.00	2.50	3.60	8.00	6.60	6.60	5.90	4.80	7.20	4.70	8.60	1.20	0.00	7.80	100
	2	12.60	0.50	5.60	2.50	1.10	3.00	0.50	0.60	1.60	3.10	1.00	11.80	7.10	8.30	7.20	7.70	12.70	0.10	0.40	12.40	100
	3	10.90	6.00	4.00	1.40	2.40	0.10	2.00	0.90	3.20	4.10	8.60	12.30	1.40	6.90	3.00	6.00	13.20	0.90	0.30	13.30	100
	4	13.80	0.40	0.80	1.80	2.10	0.70	0.90	0.70	1.00	2.20	0.40	17.00	5.80	11.10	3.50	1.80	18.20	0.40	0.00	17.70	100
	5	16.70	1.50	0.50	0.10	1.00	0.10	0.40	0.30	1.90	0.90	1.60	20.50	2.30	3.80	1.60	5.00	20.90	0.00	0.10	20.80	100

Tableau 15: Contributions absolues des variables sur les 5 premiers axes factoriels -
AFC 1ère itération (explications dans le texte)

types particuliers ont déjà été considérées en raison de leurs faibles contributions aux axes.

Les modalités des variables MORPH, PRTYP et TSTYP peuvent être organisées en arborescence : plusieurs sous-types correspondent à un type et plusieurs types sont rattachés à une série. Un même type ne peut correspondre à deux séries différentes.

Il y a donc là une certaine redondance de l'information qui peut être très marquée dans certains cas :

La modalité Y (zones non cartographiées) est quasiment équivalente dans les 3 cas, de même que les modalités "Alluvions marines", DG, PTD. Les modalités V, VC, NM et VS relatives aux vertisols sont les mêmes pour les variables PRTYP et TSTYP.

Il n'en est pas de même pour la variable MORPH puisque un même type de modalité peut concerner plusieurs séries. Cette variable a donc a priori une structure indépendante de la variable PEDO20.

Les variables 18 et 21 (TSTYP et PRTYP) ont des contributions fortes sur les cinq premiers axes (tableau 15). Elles comportent cependant un nombre important de modalités (respectivement 56 et 26).

L'examen des contributions absolues aux cinq premiers axes par modalité (annexe 4) montre que dans la quasi-totalité des cas, elles sont nulles à très faibles (< 1 %) pour ces 2 variables.

Ceci indique qu'elles présentent un niveau de détail trop élevé puisque l'information au niveau de chaque modalité est le plus souvent peu significative.

Quelques modalités présentent des contributions non négligeables (Y, DG, PTD, V, VM, VS, VM) mais, comme il a été vu précédemment, elles sont en partie redondantes avec les modalités correspondantes de la variable PEDO 20.

En conséquence les variables 18 et 21 seront également considérées comme illustratives. La représentation de leurs modalités sur les différents axes factoriels permettra cependant d'analyser leurs répartitions par rapport aux modalités de la variable PEDO20. Si un type ou un sous-type est proche de la modalité de variable PEDO20 dont il est issu, cela signifiera que l'information particulière qu'il apporte est négligeable.

La variable MORPH sera par contre conservée. sa nature et sa structure différent de celle de la variable PEDO20.

4.3.5.3 - Bilan de la première itération

L'analyse des correspondances effectuée à la première itération a permis de déterminer 9 variables qui seront considérées comme illustratives. Il s'agit de 7 variables les moins significatives et des 2 variables présentant un nombre très élevé de modalités dont la plupart est également peu significative et qui représentent une information redondante.

En considérant ces variables comme illustratives à la seconde itération, l'analyse des correspondances effectuée sur les variables restantes (variables dites actives) sera moins lourde et qualitativement optimale :

- la quantité globale d'information traitée sera moindre, mais l'information traitée sera plus riche ;
- les variables "moins riches" ne seront pas complètement ignorées puisqu'en les considérant comme illustratives à la seconde itération, elles pourront figurer sur les sorties graphiques de l'analyse.

4.3.5.4 - Deuxième itération : Analyse complète

Le programme SPAD-N correspondant à cette analyse est fourni en annexe 6.

11 variables totalisant 77 modalités ont été utilisées. Par rapport à l'analyse précédente, un des paramètres de la procédure CORMU a été modifié.

Il s'agit de PCMIN qui passe de 0 à 2 %. Selon Lebart (1988), ce paramètre sert à assurer la "robustesse" de l'analyse. Lors de la détermination des axes, les individus possédant une modalité de poids total faible (inférieur à PCMIN) se voient attribuer au hasard une des modalités de la même variable. La valeur de 2 % convient pour la plupart des analyses.

Dans notre cas, cela permet d'éliminer les modalités de poids trop faible au sein de variables qui n'ont pas été éliminées à la première itération.

Ainsi 63 modalités sur 11 variables seront sélectionnées pour le calcul des axes factoriels.

La figure 41 montre l'histogramme des 20 premières valeurs propres ainsi que les pourcentages d'inertie des différents axes. Les cinq premiers axes totalisent 36 % de l'inertie totale du nuage des individus (ou des modalités). On double donc cette valeur par rapport à la première analyse. Cela ne signifie pourtant pas que les cinq premiers axes représentent une quantité d'information plus importante puisqu'en réalité l'inertie totale est plus faible. Par contre les modalités retenues pour la seconde analyse sont celles qui sont les plus discriminantes. Les 36 % d'inertie pour les cinq

NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENT.	POURCENT. CUMULE	
1	.5430	11.49	11.49	*****
2	.3919	8.29	19.78	*****
3	.3301	6.98	26.76	*****
4	.2402	5.08	31.84	*****
5	.1897	4.01	35.85	*****
6	.1631	3.45	39.30	*****
7	.1543	3.26	42.56	*****
8	.1376	2.91	45.48	*****
9	.1303	2.76	48.23	*****
10	.1252	2.65	50.88	*****
11	.1188	2.51	53.39	*****
12	.1099	2.33	55.72	*****
13	.1047	2.22	57.93	*****
14	.1030	2.18	60.11	*****
15	.1003	2.12	62.23	*****
16	.0978	2.07	64.30	*****
17	.0958	2.03	66.33	*****
18	.0906	1.92	68.25	*****
19	.0904	1.91	70.16	*****
20	.0882	1.87	72.02	*****

Figure 41 : Histogramme des 20 premières valeurs propres de l'AFC effectuée à la seconde itération

premiers axes représentent donc une qualité d'information très supérieure à celle des cinq premiers axes de la première itération.

Nous décrirons les données en interprétant ces cinq premiers axes. Auparavant deux points doivent être examinés :

- malgré un gain de 18 % d'inertie par rapport à la première analyse un taux d'inertie de 36 % sur cinq axes peut paraître faible. Il convient ici de souligner la différence entre quantité d'information contenue et variance expliquée par un axe. Même si la part de variance exprimée par les premiers axes est faible, ils synthétisent cependant l'essentiel de l'information (Amiet et Trévisiol, 1979) ;

- pourquoi se limiter à cinq axes ? Ils n'y a pas de règle concernant le nombre d'axe à interpréter. Nous avons donc considéré arbitrairement cinq axes sachant cependant qu'en pratique il est courant de se limiter à cette valeur (Bouroche et Saporta, 1987).

4.3.5.5 - Interprétation des axes factoriels

Pour cette interprétation, nous nous reporterons à l'annexe 7 qui indique les coordonnées et contributions des modalités aux cinq premiers axes. Etant donné le nombre important d'individus (8000), la liste de leurs coordonnées et contributions serait trop longue. Il ne seront donc pas utilisés pour la description des axes.

La procédure DEFAC du programme SPAD-N mis en oeuvre pour l'AFC effectuée à la deuxième itération (annexe 6) permet de lister pour chaque axe, les modalités les plus caractéristiques. La "valeur-test" exprimée pour chaque modalité intègre à la fois le poids de la modalité, ses contributions absolues et relatives. Les modalités les plus caractéristiques sont celles ayant des "valeurs test" positives et négatives extrémales.

AXE 1

Le tableau 16 indique pour l'axe 1 les 20 modalités les plus caractéristiques, déterminées par la procédure DEFAC. On vérifie qu'il s'agit des modalités ayant les plus fortes contributions à chacune des extrémités de l'axe et que dans la plupart des cas ces modalités sont bien représentées sur cet axe (cosinus carré $> 0,35 - 0,40$) (annexe 6). Les modalités situées aux extrémités du tableau sont celles qui s'opposent le plus fortement.

Afin de faciliter l'interprétation, nous avons repris les données du tableau en opposant les modalités appartenant à une même variable.

modalités à coordonnées -

- A0 : Zones d'altitude moyenne à faible - 0 - 100 m
- VE18:Forêt mésophile
- VNA :Importance de la végétation naturelle, dominance de cultures
- P10 : Pente moyenne faible 0 - 5°
- CM1: Code morphologique : pentes < 5 %
- 50A : Code pédologique : 1/20.000 alluvions continentales
- BEV2:Indice de Beven moyen, valeur moyenne (- 2 - 3)
- BEV2:Indice de Beven moyen, valeur forte (3 - 4)
- 15A : Code pédologique : 1/150.000 alluvions continentales
- GEA :Code lithologique : alluvions continentales

- modalités à coordonnées +

- A4 : Zones d'altitude moyenne à forte 400 - 500 m
- A3 : Zone d'altitude moyenne assez forte 300 - 400 m
- VE20:Forêt hygrophile inf. dense
- VNC :Importance de la végétation naturelle, cultures éparses.
- VND :Formations naturelles homogènes
- P15 : Pente moyenne 15 - 20°
- CM5: Zones non cartographiées
- 50X : Zones non cartographiées
- BEV1: Valeur faible (1 - 2)
- 15F3: Valeur faible (1 - 2)

■ Les modalités contribuant fortement à l'axe 1, "avec des coordonnées négatives" sont caractéristiques des zones basses littorales. La présence des modalités "alluvions continentales" et "zones à dominances de cultures" indique la côte est (fig. 2 et 5b). Ces zones sont surtout caractérisées par des pentes faibles, une végétation de type mésophile et des indices de Beven forts. Cet indice est élevé pour des surfaces drainées importantes et des pentes faibles, ce qui est le plus souvent le cas en zones littorales. La représentation graphique du plan factoriel principal (constitué par les axes 1 et 2) permet de confirmer cette interprétation (fig. 42). Les modalités illustratives ou de poids trop faible caractéristiques des zones littorales sont représentées sur ce graphique à proximité des modalités précédemment décrites. Il s'agit :

* des modalités "alluvions" des variables PRTYP et TSTYP :

- PTAB, PTA, PTAC, PTAD, PTD ;
- ABW, AB, ACWW, AC, A, ACG, AD...

* des modalités de la variable végétation.

- VEO1 (mangrove), VEO3 (forêt marécageuse), VEO8 (falaises à végétation mésophile) ;

* de la modalité BEV4 (indice de Beven maximal).

NUMERO	IDENT	LIBELLE DE LA VARIABLE	LIBELLE MODALITE	POIDS	VALEUR-TEST
1	A0	Altitude moyenne	0-100	249679.60	-710.27
2	VE18	Types de végétation	Forêt meso.	487734.30	-639.19
3	CM1	Code morphologique (pedo50)	Pentes inf. 5%	100410.40	-622.66
4	VN.A	Importance de la végétation naturelle	Dominance cultures	80813.82	-617.63
5	GE.A	Code lithologique	Alluvions cont.	107297.00	-581.74
6	P0	Pente moyenne	0-5	75396.82	-575.42
7	BEV2	Indice de beeven moyen	2 3	288000.80	-499.02
8	BEV3	Indice de beeven moyen	3 4	50456.45	-498.16
9	50A	Code pedo. 1/20000	Alluvions cont.	37153.55	-484.51
10	15A	Code Pedo 1/150000	Alluvions continen	41072.41	-483.29
Z O N E C E N T R A L E					
68	A3	Altitude moyenne	300-400	114195.40	299.23
69	P15	Pente moyenne	15-20	167938.40	314.46
70	VN.C	Importance de la végétation naturelle	Cultures éparses	228620.30	332.76
71	A4	Altitude moyenne	400-500	113268.50	366.50
72	VN.D	Importance de la végétation naturelle	Form nat homogènes	424851.40	434.57
73	50X	Code pedo. 1/20000	Zones non cartogr.	335248.30	441.27
74	CM6	Code morphologique (pedo50)	Zones non cartogr.	333402.30	446.95
75	15F3	Code Pedo 1/150000	Sols fer.3	280821.00	601.50
76	BEV1	Indice de beeven moyen	1 2	554391.20	602.15
77	VE20	Types de végétation	For hygro inf dense	405114.30	624.07

Tableau 16: Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de l'axe 1

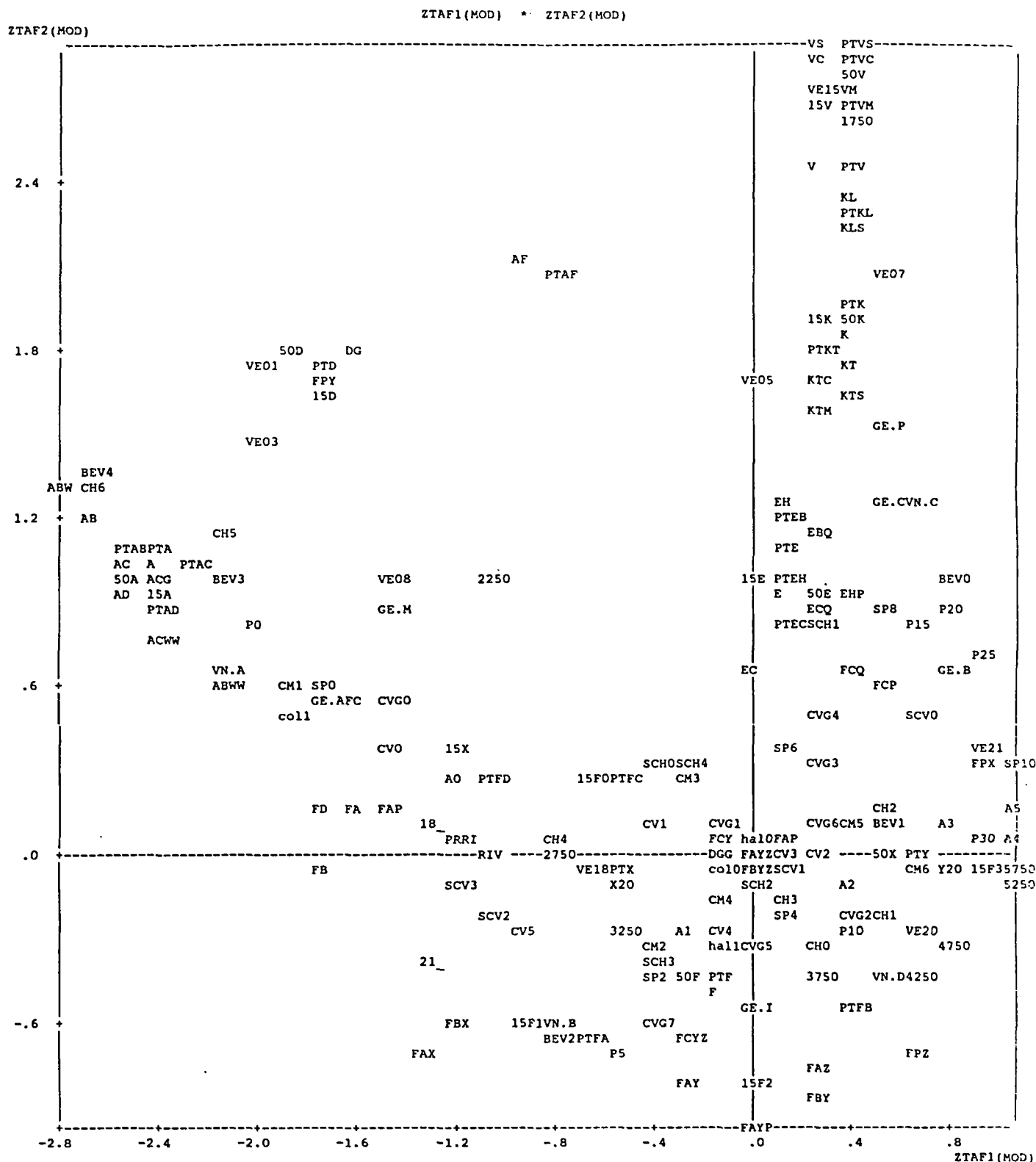


Figure 42 : Représentation des modalités sur le plan factoriel principal (AFC - seconde itération)

Notons enfin que d'autres modalités "moins évidentes" caractérisent également les zones littorales. Il s'agit des modalités CH6 et CH5 qui correspondent aux valeurs les plus élevées de convexité horizontale moyenne, et de SPO qui indique les valeurs minimales d'écart de pente au sein des versants.

■ Les modalités contribuant fortement à l'axe 1 avec des coordonnées positives caractérisent les zones montagneuses de la zone d'étude (formations naturelles homogènes, forêt hygrophile inférieure dense, altitudes moyennes à fortes, sols ferralitiques, zones non cartographiées).

L'examen de la répartition des modalités illustratives ou de poids faible le plan factoriel principal (fig. 42) est moins facile en raison de la plus grande densité de modalités à coordonnées positives sur l'axe 1. On peut cependant noter la présence à proximité des éléments, caractérisant les zones montagneuses, de :

- la modalité A5 qui représente les altitudes les plus élevées de la zone d'étude ;
- les modalités 4750, 5750 et 5250 représentant les valeurs les plus élevées de la variable PLUIE ;
- les modalités P25 et P30 (pente moyenne forte à très forte) ;
- VE21 qui concerne la forêt hygrophile supérieure ;
- SP10 représentant les versants à écart-type de pente maximale ;
- BEV0 (valeurs d'indice de Beven les plus faibles).

■ Un nombre important de variables sont issues de données de nature continue. Leurs modalités sont donc "ordonnées". Il convient alors d'analyser l'orientation par rapport à l'axe 1 de la chaîne formée en reliant, pour chaque variable, les modalités selon un ordre croissant (fig. 43).

La chaîne formée pour la variable altitude à la même orientation que l'axe 1, ce qui souligne la différenciation sur cet axe entre zones littorales et zones montagneuses. Il en est de même pour les variables MOYP (pente moyenne), MORPH (code morphologique), SPENT (écart-type de la pente).

Pour les variables MOYBEV (indice de Beven moyen), et MOYCOV (convexité horizontale moyenne) l'orientation est opposée.

L'orientation pour les autres variables d'origine continue est a priori indépendante de l'axe 1.

Notons enfin que la variable pluviométrie est "ordonnée" selon l'axe 1 sauf pour la modalité 1750 qui est très éloignée des modalités caractéristiques des zones littorales. Ceci confirme que ces zones sont bien celles de la côte au vent (côte est) où la modalité "1750" n'est pas représentée (fig. 6).

AXE 2

Le tableau 17 indique pour l'axe 2 les modalités les plus caractéristiques. Comme précédemment, ces données sont reprises en opposant les modalités appartenant à une même variable :

modalités à coordonnées -	- modalités à coordonnées +
- 15F2 : Code pédologique : 1/150.000 sols ferralitiques 2	- 15V : Vertisols
- P5 : Pente moyenne faible (5° - 10°)	- 15K : Sols ferralsialitiques
- 50F : Code pédologique : 1/20.000 sols ferralitiques friables	- P15 : Pente moyenne (valeur moyenne)
- GEI : Code lithologique : complexe volc. Antémioène	- 50V : Vertisols
- VE20:Végétation : forêt hygrophile inférieure dense	- 50K : Sols ferralitiques
- VNB: Importance de la végétation naturelle, boisements résiduels	- GEC :Coulées de laves
- VND: Idem, formation naturelle homogène	- VE15:Forêt xérophile
	- VNC : Cultures éparées
	- 1750:Pluviométrie moyenne, valeur minimale
	- 2250 :Idem - valeur faible
- CVG7 : Convexité verticale globale valeur maximale	

■ Les modalités caractéristiques côté positif de l'axe 2 indiquent nettement la côte sous le vent et plus précisément les zones basses et moyennes. Les modalités 50V, 15V (vertisols), VE15 (forêt xérophile), VNC (cultures éparées) et 1750 (pluviométrie) contribuent en effet fortement à l'inertie de cet axe (tableau 17). Ces zones correspondent à des valeurs moyennes (15° - 20°) de pente. L'examen du plan factoriel principal (fig. 42) montre que les modalités des variables PRTYP et TSTYP ayant trait aux vertisols et aux sols ferralsialitiques se répartissent autour des modalités 50 V et 50 K.

On peut citer également à partir de ce graphique d'autres variables caractéristiques de la côte sous le vent :

- VEO7, falaise volcanique à végétation xérophile ;
- VE05, végétation de plage, cartographiée uniquement en côte sous le vent dans la zone d'étude (fig. 5a) ;

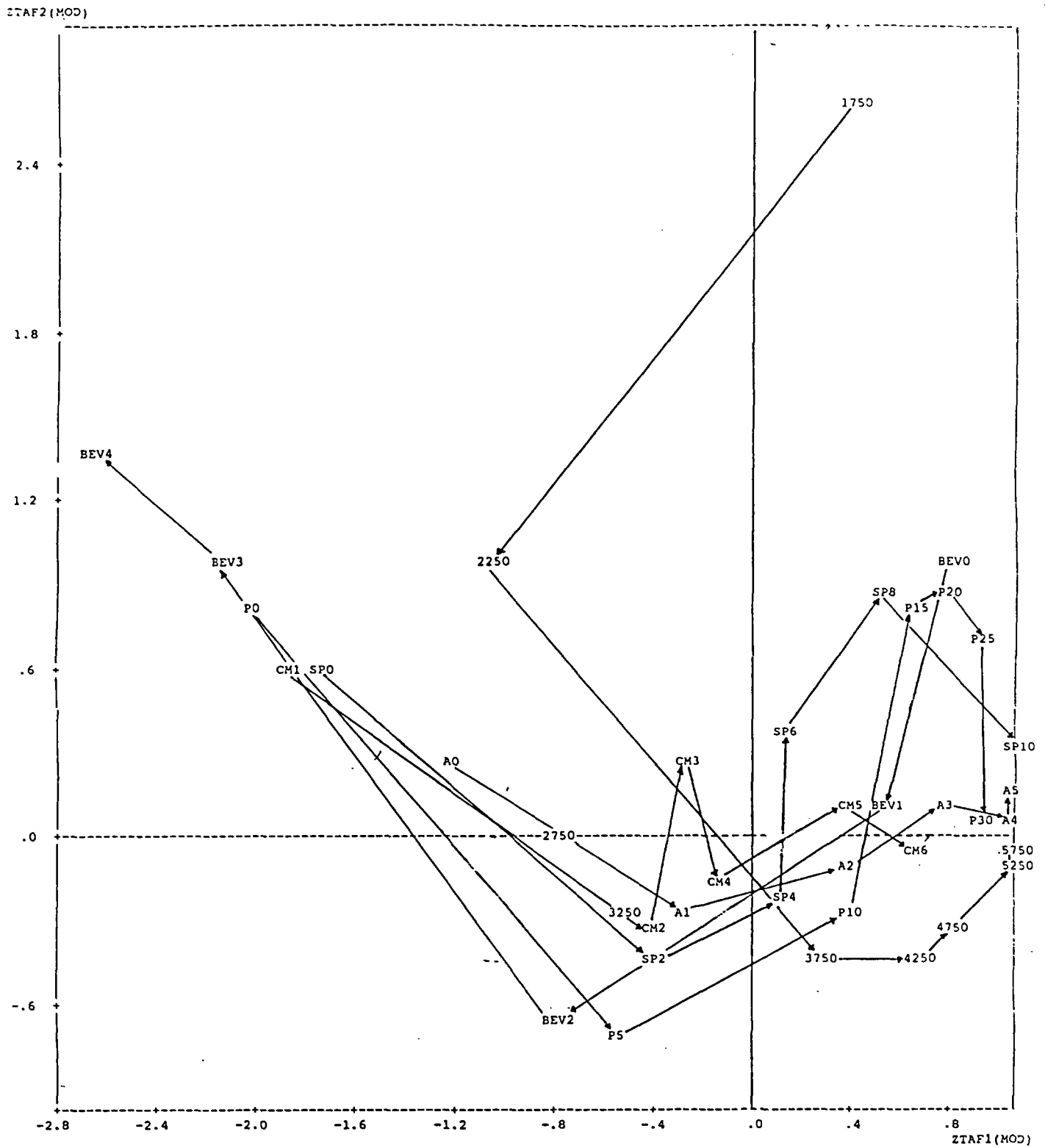


Figure 43 : Orientation de quelques variables "ordonnées" dans le plan factoriel principal (AFC - seconde itération)

NUMERO	IDENT	LIBELLE DE LA VARIABLE	LIBELLE MODALITE	POIDS	VALEUR-TEST
1	GE.I	Code lithologique	Compl volc ant Mioc	596060.10	-685.88
2	15F2	Code Pedo 1/150000	Sols fer.2	283927.70	-524.22
3	P5	Pente moyenne	5-10	312934.70	-481.32
4	50F	Code pedo. 1/20000	Sols fer. friables	497684.10	-452.99
5	BEV2	Indice de beeven moyen	2 3	288000.80	-414.36
6	VN.D	Importance de la végétation naturelle	Form nat homogènes	424851.40	-402.05
7	VN.B	Importance de la végétation naturelle	Boisements residuels	234705.20	-334.69
8	VE20	Types de végétation	For hygro inf dense	405114.30	-284.39
9	15F1	Code Pedo 1/150000	Sols fer.1	80920.70	-199.17
10	CVG7	Convexite verticale globale	sup 7	91530.90	-184.55
Z O N E C E N T R A L E					
68	2250	Pluviométrie moyenne inter-annuelle	2000-2500	120739.60	366.36
69	P15	Pente moyenne	15-20	167938.40	370.82
70	50K	Code pedo. 1/20000	Sols fersial.	42670.15	391.60
71	15K	Code Pedo 1/150000	sols fer. mont. ka	48675.25	417.71
72	GE.C	Code lithologique	Coulées	107886.10	432.84
73	1750	Pluviométrie moyenne inter-annuelle	inf 2000	36566.68	514.04
74	50V	Code pedo. 1/20000	Vertisols	36470.70	539.66
75	15V	Code Pedo 1/150000	Vertisols	43218.73	561.45
76	VE15	Types de végétation	Forêt xero.	51254.69	623.90
77	VN.C	Importance de la végétation naturelle	Cultures éparses	228620.30	685.20

Tableau 17: Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de l'axe 2

- GE.P, lapilli et ponces dacitiques ;
- AF et PTAF, sols sableux.

Remarque :

Bien qu'elles ne soient pas les plus caractéristiques (poids faibles), les modalités VE05, AF, PTAF ont des coordonnées positives élevées sur l'axe 2 et permettent a priori de décrire des zones situées en côte sous le vent. Cette caractérisation est artificielle dans la mesure où la végétation de plage et les sols sableux sont connus ailleurs qu'en côte sous le vent. Ce constat souligne le biais que peut apporter dans l'analyse une modalité de poids très faible :

■ les modalités à coordonnées négatives caractéristiques de l'axe 2 sont plus difficiles à interpréter. Elles indiquent globalement la côte au vent en excluant cependant les zones littorales :

- zones de moyenne altitude (pente moyenne faible, boisements résiduels) ;
- zones montagneuses (forêt hygrophile inférieure dense, formations naturelles homogènes, complexe volcanique Antémioène, sols ferralitiques).

L'examen de la figure 42 montre d'autres variables représentatives de ces zones : CVG7 (convexité verticale globale forte), SP2 (écart-type de pente faible), SCH3 (écart-type de convexité horizontale fort), CH0 (convexité horizontale faible), CM2 (pente entre 5 et 20 %), 3750 et 4250 (pluviométrie moyenne sur la zone).

■ Contrairement à l'axe 1, aucune variable d'origine continue, ne présente des modalités dont l'enchaînement selon un ordre croissant, à même orientation (ou orientation opposée) que l'axe 2.

AXE 3

Le tableau 18 donne la liste des modalités caractéristiques de cet axe. Les modalités de même variable s'opposant sur cette axe sont les suivantes :

modalités à coordonnées -

- A1 : Altitude moyenne faible 100 - 200
- VE15:Forêt xérophile
- 50 V :Code pédologique : 1/20.000
vertisols
- 15 V :Code pédologique : 1/150.000
vertisols

- modalités à coordonnées +

- A4 : Altitude moyenne forte 400 - 500
- VE20:Végétation : forêt hygrophile
inférieure dense
- 50A : Alluvions continentales
- 50X : Zones non cartographiées
- 15A : Alluvions continentales

- | | |
|---|---|
| - 15F2: Idem - Sols ferralitiques 2 | - 15F3: Sols ferralitiques 3 |
| - CM4: Code morphologique
pentes entre 20 et 50 % | - CM6: Zones non cartographiées |
| - VNB: Importance de la végétation
naturelle, boisements résiduels | - VNA: Dominance de cultures |
| - P5 : Pente moyenne faible (5 - 10°) | - P0 : Pente moyenne faible à nulle
(0 - 5°) |
| - BEV2: Indice de Beven
valeur moyenne (2 - 3) | - BEV3: Indice de Beven
valeur forte (3 - 4) |
| - 1750: Pluviométrie moyenne
faible (< 2000 mm) | |

Cet axe oppose la côte au vent à la côte sous le vent. On retrouve en effet, "côté négatif", les principales modalités caractéristiques de la côte sous le vent mises en évidence en interprétant l'axe 2. Il s'agit des modalités VE15, 50V, 15V, 1750. Les modalités 15F2, CM4, VN.3 et A1 qui étaient moins caractéristiques sur l'axe 2 indiquent des zones d'altitude plus élevées. Les sols ferralitiques (15F2), les zones à pentes comprises entre 20 et 50 % ainsi que les boisements résiduels (VNB) sont largement représentés au niveau des zones hautes, en côte sous le vent (figs. 3, 4b et 5b).

La côte sous le vent doit donc être prise ici dans un sens plus large que pour l'axe 2.

Il en est de même pour les modalités caractérisant la côte au vent, à l'autre extrémité de l'axe 3.

On y distingue à la fois des modalités indiquant des zones montagneuses (A4, VE20, M6, 15F3, 50X) et des zones littorales (50A, VNA, PO, BEV3). L'examen du plan factoriel 1 - 3 (fig. 44) confirme cette interprétation.

On constate sur ce plan que les modalités caractérisant les zones littorales et montagneuses ont des coordonnées positives proches sur l'axe 1. Ceci tendrait à montrer que la côte au vent est plus représentative des zones montagneuses que la côte sous le vent, ce qui est vérifié en réalité. Les zones montagneuse sont en effet plus étendues à l'est des sommets marquant la limite entre zones au vent et sous le vent (figs. 1 et 10).

AXE 4

Le tableau 19 indique les principales modalités s'opposant sur l'axe 4, déterminées par la procédure DEFAC. Les modalités de même variable s'opposant sur cet axe sont les suivantes :

NUMERO	IDENT	LIBELLE DE LA VARIABLE	LIBELLE MODALITE	POIDS	VALEUR-TEST
1	A1	Altitude moyenne	100-200	216899.90	-465.95
2	VE15	Types de végétation	Forêt xero.	51254.69	-388.94
3	50V	Code pedo. 1/20000	Vertisols	36470.70	-379.60
4	15V	Code Pedo 1/150000	Vertisols	43218.73	-375.63
5	15F2	Code Pedo 1/150000	Sols fer.2	283927.70	-345.53
6	CM4	Code morphologique (pedo50)	Pentes 20% 50%	209359.10	-340.79
7	VN.B	Importance de la végétation naturelle	Boisements residuels	234705.20	-333.48
8	1750	Pluviométrie moyenne inter-annuelle	inf 2000	36566.68	-332.22
9	P5	Pente moyenne	5-10	312934.70	-327.24
10	BEV2	Indice de beeven moyen	2 3	288000.80	-296.71
Z O N E C E N T R A L E					
68	50X	Code pedo. 1/20000	Zones non cartogr.	335248.30	349.43
69	CM6	Code morphologique (pedo50)	Zones non cartogr.	333402.30	350.20
70	15A	Code Pedo 1/150000	Alluvions continen	41072.41	350.57
71	A4	Altitude moyenne	400-500	113268.50	351.56
72	50A	Code pedo. 1/20000	Alluvions cont.	37153.55	357.43
73	BEV3	Indice de beeven moyen	3 4	50456.45	379.27
74	VN.A	Importance de la végétation naturelle	Dominance cultures	80813.82	380.00
75	VE20	Types de végétation	For hygro inf dense	405114.30	389.90
76	P0	Pente moyenne	0-5	75396.82	392.52
77	15F3	Code Pedo 1/150000	Sols fer.3	280821.00	531.67

Tableau 18: Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de l'axe 3

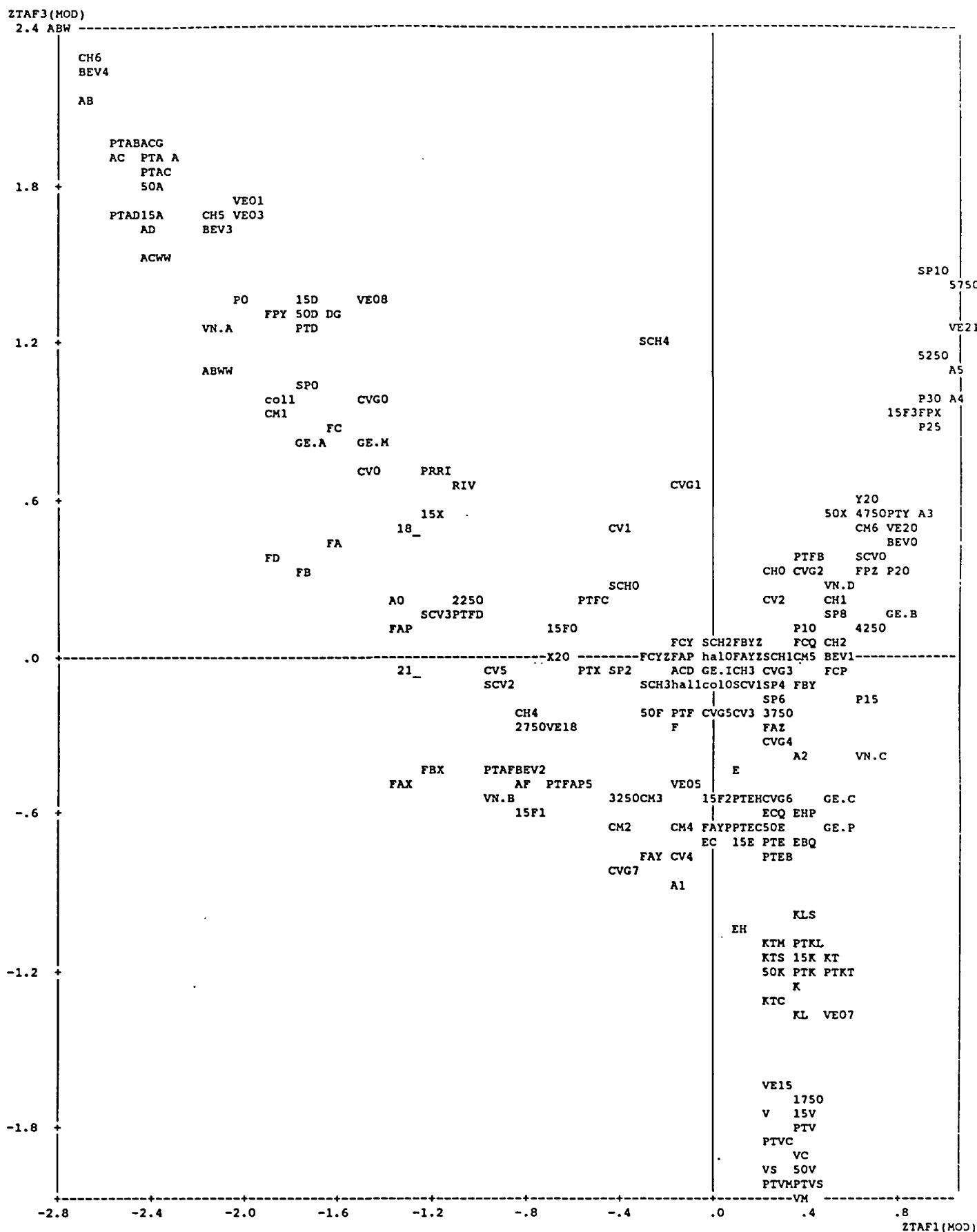


Figure 44 : Représentation des modalités sur le plan factoriel 1-3 (AFC - seconde itération)

NUMERO	IDENT	LIBELLE DE LA VARIABLE	LIBELLE MODALITE	POIDS	VALEUR-TEST
1	15V	Code Pedo 1/150000	Vertisols	43218.73	-501.66
2	50V	Code pedo. 1/20000	Vertisols	36470.70	-486.98
3	1750	Pluviométrie moyenne inter-annuelle	inf 2000	36566.68	-465.21
4	VN.D	Importance de la végétation naturelle	Form nat homogènes	424851.40	-432.24
5	BEV1	Indice de beeven moyen	1 2	554391.20	-306.58
6	CVG6	Convexite verticale globale	3 7	95463.77	-242.37
7	VE20	Types de végétation	For hygro inf dense	405114.30	-239.13
8	P10	Pente moyenne	10-15	297200.40	-237.29
9	VE15	Types de végétation	Forêt xero.	51254.69	-232.67
10	VE07	Types de végétation	Fal. volc. xero.	5263.66	-206.71
Z O N E C E N T R A L E					
68	GE.P	Code lithologique	Ponces et lapilli	34578.25	229.49
69	2750	Pluviométrie moyenne inter-annuelle	2500-3000	174043.30	245.24
70	15F0	Code Pedo 1/150000	Sols fer.	162666.10	292.48
71	P25	Pente moyenne	25-30	26401.80	356.27
72	VN.C	Importance de la végétation naturelle	Cultures éparses	228620.30	367.72
73	50K	Code pedo. 1/20000	Sols fersial.	42670.15	368.34
74	15K	Code Pedo 1/150000	sols fer. mont. ka	48675.25	395.96
75	VE18	Types de végétation	Forêt meso.	487734.30	399.59
76	P20	Pente moyenne	20-25	88832.72	409.61
77	BEV0	Indice de beeven moyen	0 1	70375.77	564.98

Tableau 19: Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de l'axe 4

modalités à coordonnées -

- 15 V :Code pédologique : 1/150.000
vertisols
- 50 V :Code pédologique : 1/20.000
vertisols
- 1750: Pluviométrie moyenne
faible (< 2000 mm)
- VND: Importance de la végétation
naturelle, formations naturelles
homogènes
- BEV1: Indice de Beven moyen
valeur faible (1 - 2)
- VE20:Végétation : forêt hygrophile
inférieure dense
- VE15:Forêt xérophile
- VE07:falaise volcanique à végétation
xérophile
- P10 : Pente moyenne (10 - 15°)
- CVG6: Convexité verticale globale
valeur forte (3 - 7)

- modalités à coordonnées +

- 15K : Sols ferralitiques
- 15F0: Sols ferralitiques
- 50K : Sols fersialitiques
- 50X : Zones non cartographiées
- 2250: Pluviométrie moyenne, valeur
entre 2000 mm et 25000 mm
- VNC: Cultures éparées
- BEV0: Indice de Beven moyen
valeur faible (0 - 1)
- VE18:Forêt mésophile
- P20 : Pente moyenne (20 - 25°)
- P25 : Pente moyenne (25 - 30°)
- GEP :Code lithologique, ponces et lapilli

L'axe 4 représente la côte sous le vent puisque toutes les modalités caractéristiques, d'un côté ou de l'autre de l'axe sont représentatives de cette zone.

Il oppose une zone particulière de la côte sous le vent au reste des zones de ce secteur.

Cette zone particulière est caractérisée par des sols fersialitiques (série pédologique k), la forêt mésophile, des cultures éparées, une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 2000 et 2500 mm, des pentes moyennes relativement fortes (20 - 30°) et à un degré moindre par l'unité géologique constituée de ponces et de lapilli.

Cette zone s'oppose sur l'axe 4 au reste de la côte sous le vent, dans la mesure où, à l'autre extrémité de l'axe, on trouve à des modalités caractérisant les zones littorales (vertisols, pluviométrie faible inférieure à 2000 m/an, végétation xérophile) et les zones montagneuses (forêt hygrophile inférieure dense formations naturelles homogènes).

Notons ici la présence de la modalité CVG6 (convexité verticale globale forte) indiquant la présence de versants très convexes en côte sous le vent.

La représentation graphique sur le plan factoriel 3 - 4 (fig. 45) permet de visualiser ces résultats.

Il est intéressant de noter sur ce graphique, l'individualisation d'un groupe de modalités caractérisé par les alluvions marines (50D, 15D, PTD, DG), une végétation de mangrove et de forêt marécageuse associée à la forêt xérophile.

AXE 5

Comme pour les axes précédents nous nous reporterons au tableau 20 issu de la procédure DEFAC.

Les modalités de même variable s'opposant sur l'axe 5 sont les suivantes :

modalités à coordonnées -	- modalités à coordonnées +
- A2 : Altitude moyenne 200 - 300	- A1 : Altitude moyenne 100 - 200
- 50 K: Code pédologique : 1/20.000 sols ferralitiques	- 50X : Zones non cartographiées
- 50 F: Idem sol ferralitiques	- 50V : Vertisols
- 15K : Code pédologique 1/150.000 sols ferralitique friables	- 15V : Vertisols
- CM5: Code morphologique pente > 50 %	- CM6: Zones non cartographiées
- VND: Importance de la végétation naturelle, formations naturelles homogènes	- VNB: Boisement résiduels
- 4250: Pluviométrie moyenne 4000 - 4500 mm/an	- 5750: 5500 - 6000 mm/an
- 4750: 4500 - 5000 mm/an	- 1750: Inférieure à 2000 mm/an
- BEV1: Indice de Beven moyen valeur faible (1 - 2)	- BEV0 : Valeurs nulles à faibles (0 - 1)
- VE20: Forêt hygrophile inférieure dense	- P25 : Pentes moyennes fortes 25 - 30

Les modalités soulignées sont les plus caractéristiques à chaque extrémité de l'axe.

L'axe 5 est plus difficile à analyser, comme les précédents, en terme de répartition géographique, les modalités caractéristiques n'étant pas ici représentatives d'un secteur bien défini.

Nous ne nous risquerons donc pas ici à une interprétation qui n'est pas évidente.

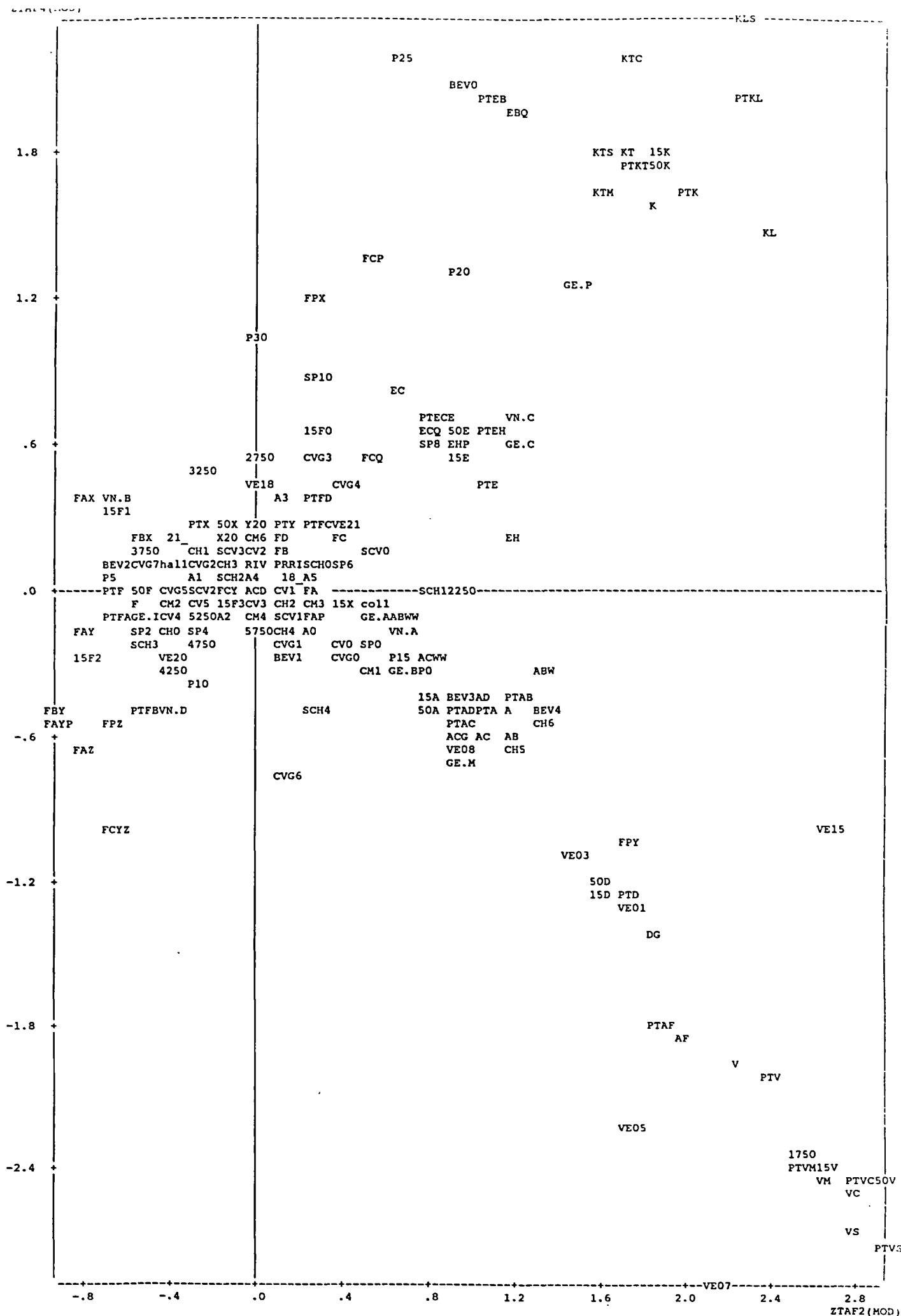


Figure 45 : Représentation des modalités sur le plan factoriel 2-4 (AFC - seconde iteration)

NUMERO	IDENT	LIBELLE DE LA VARIABLE	LIBELLE MODALITE	POIDS	VALEUR-TEST
1	A2	Altitude moyenne	200-300	214572.00	-527.72
2	50K	Code pedo. 1/20000	Sols fersial.	42670.15	-445.74
3	15K	Code Pedo 1/150000	sols fer. mont. ka	48675.25	-392.21
4	50F	Code pedo. 1/20000	Sols fer. friables	497684.10	-304.57
5	CM5	Code morphologique (pedo50)	Pentes sup. 50%	142385.90	-276.32
6	VN.D	Importance de la végétation naturelle	Form nat homogènes	424851.40	-226.63
7	4250	Pluviométrie moyenne inter-annuelle	4000-4500	134419.50	-224.57
8	VE20	Types de végétation	For hygro inf dense	405114.30	-218.02
9	4750	Pluviométrie moyenne inter-annuelle	4500-5000	117814.70	-201.40
10	BEV1	Indice de beeven moyen	1 2	554391.20	-186.18
Z O N E C E N T R A L E					
68	BEV0	Indice de beeven moyen	0 1	70375.77	220.83
69	50V	Code pedo. 1/20000	Vertisols	36470.70	235.29
70	5750	Pluviométrie moyenne inter-annuelle	5500-6000	39594.23	236.03
71	1750	Pluviométrie moyenne inter-annuelle	inf 2000	36566.68	238.69
72	A1	Altitude moyenne	100-200	216899.90	253.96
73	P25	Pente moyenne	25-30	26401.80	262.51
74	15V	Code Pedo 1/150000	Vertisols	43218.73	276.08
75	VN.B	Importance de la végétation naturelle	Boisements residuels	234705.20	311.20
76	CM6	Code morphologique (pedo50)	Zones non cartogr.	333402.30	479.84
77	50X	Code pedo. 1/20000	Zones non cartogr.	335248.30	482.97

Tableau 20: Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de l'axe 5

4.3.5.6 - Analyse des plans factoriels principaux

- Le plan factoriel 1 - 2 (fig. 43) montre une disposition du nuage de modalités en forme de "V". Chacune des extrémités du V correspond aux zones littorales de la côte au vent et de la côte sous le vent. Entre ces 2 extrémités, un petit groupe de modalités concernant les alluvions marines et la végétation de mangrove s'individualise. Ces formations sont en effet présentes à la fois en côtes est et ouest.

La base du V correspond aux zones montagneuses avec une densité forte de modalités représentées rendant impossible la mise en évidence d'ensembles distincts.

- Le nuage des points modalités sur le plan 1 - 3 présente une forme en "Y" (fig. 44). Le cadran des coordonnées positives sur l'axe 3 et négative sur l'axe 1, montre une meilleure discrimination des modalités représentatives des zones littorales en côte au vent, que sur le plan 1 - 2.

Il en est de même pour les zones montagneuses, sur le cadran des coordonnées positives sur les deux axes, où l'on distingue nettement un groupe de modalités caractéristiques des zones les plus élevées (A4 et A5 - altitudes supérieures à 400 m ; 5250 - 5750 - pluviométrie supérieure à 5000 mm/an, P30 - pentes fortes...). A la base du "Y", 2 groupes de modalités se distinguent nettement (le groupe vertisols - forêt xérophile et un autre groupe constitué par les modalités relatives aux sols ferralitiques).

- Le plan factoriel 2 - 3 (fig. 46) est moins riche en informations que les 2 plans précédemment étudiés. Notons dans le cadran des coordonnées positives sur l'axe 2 et négatives sur l'axe 3, l'individualisation d'un groupe de modalités représentatives d'une zone particulière de la côte sous le vent, constituée par des sols ferralitiques compacts (série E), des cultures éparses (VN.C), des coulées de lave (GE.C) ainsi que des ponces et lapilli (GE.P).

- D'autres plans issus de plusieurs combinaisons des axes interprétés ont été analysés, mais ils n'apportent pas d'information supplémentaire évidente par rapport aux interprétations réalisées sur les plans factoriels principaux.

4.3.5.7 - Bilan de la description des axes

■ Nous ne reviendrons pas ici sur la signification de chacun des axes. Notons que l'axe 1 ayant l'inertie de la plus forte a permis l'interprétation la plus détaillée. L'interprétation est de moins en moins évidente lorsque l'inertie de l'axe diminue et n'a pas été possible pour l'axe 5.

■ Les modalités des variables TSTYP et PRTYP issues de la carte pédologique à 1/20.000 se répartissent le plus souvent à proximité des modalités correspondantes de la variable PEDO20, ce qui implique une certaine redondance. L'apport des données très détaillées de la pédologie, pour la description des données ne semble donc pas déterminant.

■ Les modalités des variables PEDO150 et PEDO20 ayant trait aux mêmes types de sols sont proches sur les différents axes interprétés. Cette correspondance est très nette pour les modalités concernant les alluvions marines (série D) et continentales (série A), les vertisols (série V), les sols fersialitiques (série K) et les sols ferralitiques compacts (série E).

On met donc en évidence ici un autre niveau de redondance qui est compréhensible puisqu'en réalité la carte pédologique de l'atlas de la Guadeloupe à 1/150.000 (Colmet Daage, 1982) (à l'origine de la variable PEDO150) est tirée de la carte des sols à 1/20.000 (Colmet Daage, 1970). (variable PEDO20).

■ Les zones présentant des caractères marqués, sont les zones littorales de la côte au vent et la côte sous le vent.

Les modalités caractérisant ces zones s'individualisent nettement sur les axes interprétés.

Par contre les zones montagneuses présentent des caractères moins discriminants. Les modalités caractérisant ces zones s'individualisent moins nettement sur les axes 1, 2 et 3. Elles se situent à proximité de l'origine des axes où existe une grande densité de modalités représentées. Ce constat permet de souligner la grande diversité des caractères présents dans ce secteur, notamment pour ce qui concerne les paramètres morphologiques calculés sur les versants. Une interprétation fine des zones montagneuses visant à faire apparaître d'éventuels sous ensembles est donc problématique. La classification automatique des données devrait apporter de meilleurs résultats à ce niveau.

■ Les interprétations des axes ont été réalisées en terme de répartition géographique (zones littorales en côte au vent, zones particulières en côte sous le vent, zones montagneuses...), ce qui conduit à formuler deux remarques :

ZTAF3(MOD)

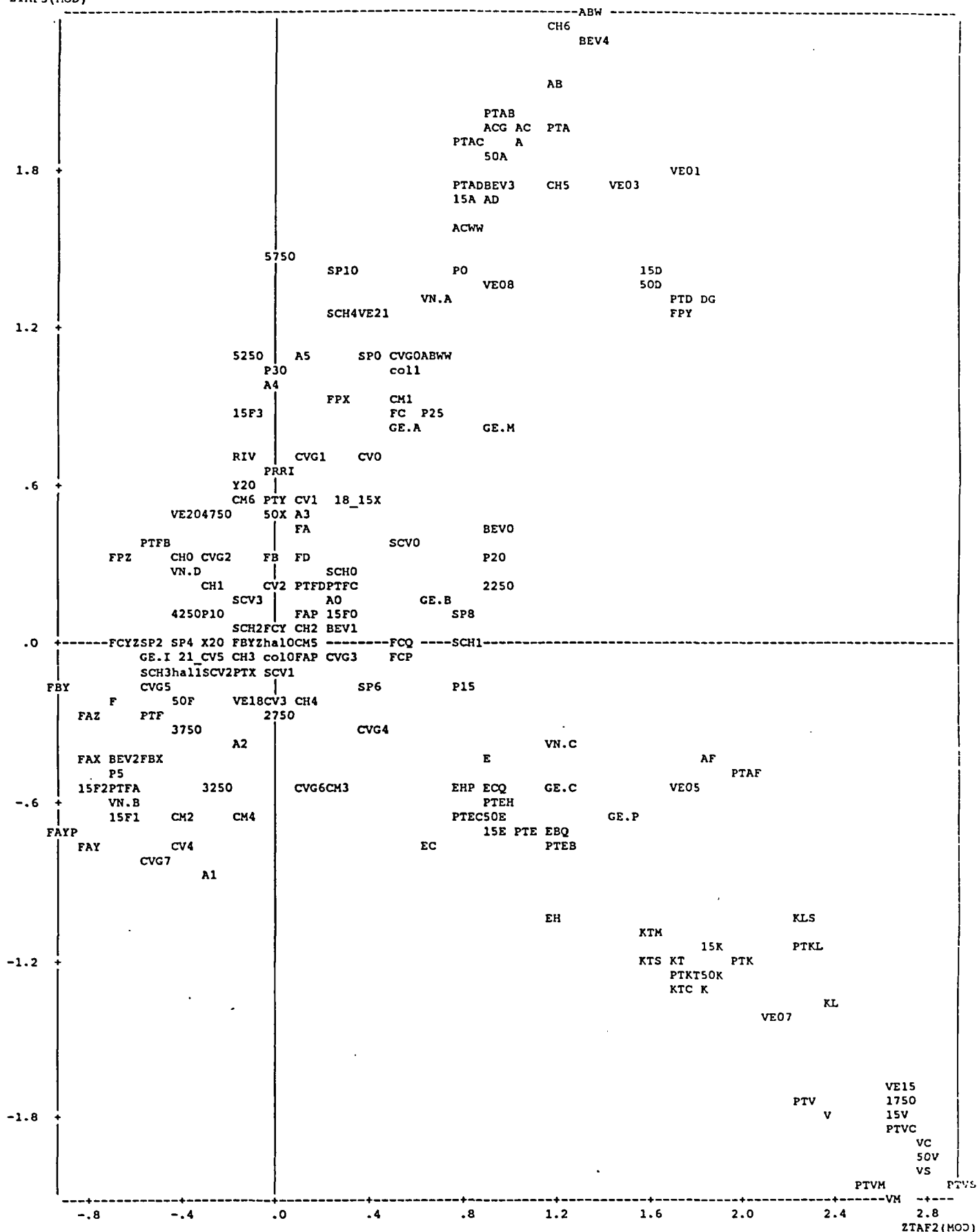


Figure 46 : Représentation des modalités sur le plan factoriel 2-3 (AFC - seconde itération)

- une telle démarche correspond à une attitude naturelle que l'on adopte en décrivant une zone quelconque qui conduit à vouloir délimiter des unités territoriales distinctes par rapport à des repères connus (ici les repères cardinaux, l'altitude, la pluviométrie...).

Il est en effet plus aisé de parler des zones littorales au vent que de zones à convexité horizontale et indice de Beven fort et à écart-type de pente faible.

Notons d'ailleurs que l'interprétation des axes s'appuie largement sur les paramètres descripteurs du milieu, les plus usuels que sont : l'altitude, la pédologie, la végétation, la pluviométrie, la pente...).

Les éléments descripteurs plus "abstraites" tels que l'écart-type de la pente, les convexités verticales et horizontales ainsi que leurs écart-types ont été plus difficiles à intégrer la description des axes.

- une telle démarche est également implicite. Il est logique que la description d'une base de données thématiques par analyse factorielle des correspondances, conduise à mettre en évidence, si elles existent, les différentes unités géographiques qui structurent le territoire étudié.

■ L'interprétation des axes et l'analyse des plans factoriels principaux est insuffisante pour partitionner avec précision le nuage des points modalités en classes homogènes.

L'analyse des plans factoriels principaux permet d'ébaucher la détermination de classes homogènes. Elle est cependant problématique compte-tenu du nombre important de combinaisons des axes factoriels et du nombre important de modalités représentées.

Nous touchons donc là aux limites de l'analyse des correspondances.

Celle-ci doit être complétée par une classification automatique qui conduira à délimiter objectivement et plus ou moins finement, différents ensembles homogènes. Cette partition s'effectue en intégrant les différences et similitudes entre modalités mises en évidence sur l'ensemble des axes étudiés.

4.3.6 - Classification automatique des données

4.3.6.1 - Constitution d'un arbre d'agrégation hiérarchique

Le programme SPAD-N de classification est fourni en annexe 6. Il débute en fait par la procédure SEMIS dont la mise en oeuvre est réalisée après une procédure d'analyse factorielle dont elle utilise les résultats.

Le programme de classification étant très "gourmand" en réservation de mémoire vive, sa mise en oeuvre a été impossible au BRGM Guadeloupe à partir des résultats de l'analyse des correspondances décrite précédemment et effectuée sur un fichier contenant 8000 individus.

Les calculs ont donc été effectués à l'Université Antilles-Guyane, sur une station de travail de type IMB 9370 (modèle 60 - Système d'exploitation VM/SP5), grâce au concours de P. SARLAT (Ingénieur de Recherches) et M. DORVILLE (Maitre de conférence au Laboratoire de Mathématiques).

La méthode de classification utilisée est mixte. Elle comprend un phase initiale effectuée selon la méthode des centres mobiles suivie d'une agrégation hiérarchique des classes.

Pour la description de cette méthode nous nous reporterons au paragraphe 4.2.3 (Principe de la classification des données).

Deux partitions de 15 classes chacune ont été générées selon la méthode des centres mobile (15 itérations). Le croisement de ces deux partitions conduit à la formation de 225 classes dont 61 ne sont pas vides.

La partition en 20 classes demandée s'effectue en retenant les 20 classes les plus abondantes parmi les 61 non vides.

Les individus contenus dans les 41 (61 - 20) classes non vides restantes, sont réaffectés chacun à la classe retenue la plus proche. Le tableau 21 décrit la partition de base avant et après cette réaffectation.

La seconde phase de la classification est de nature hiérarchique ascendante et conduit à la construction d'un arbre d'agrégation représenté à la figure 47 et décrit par le tableau 22.

Cette description fournit pour chaque noeud de la hiérarchie, son indice de niveau, qui est ici la perte d'inertie inter-classes occasionnée par la création du noeud (critère de Ward). Comme le montre l'histogramme, cet indice est de plus en plus élevé à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie. La somme des indices et donc des pertes d'inertie est égale à l'inertie totale du nuage d'individus, celui-ci étant représenté par le noeud le plus élevé de l'arbre d'agrégation.

POIDS AVANT	CUMUL. POURC.		POIDS APRES	HISTOGRAMME DES POIDS DES CLASSES
12887.83	6.9	\$01\$	18842.90	*****
12833.19	13.7	\$02\$	12918.96	*****
12495.99	20.3	\$03\$	12495.99	*****
11411.52	26.4	\$04\$	12325.63	*****
11278.26	32.4	\$05\$	15064.61	*****
10702.53	38.1	\$06\$	14248.20	*****
8951.87	42.8	\$07\$	13072.40	*****
7572.36	46.9	\$08\$	7792.84	*****
7013.92	50.6	\$09\$	8071.30	*****
6807.15	54.2	\$10\$	11753.47	*****
6366.31	57.6	\$11\$	6630.01	*****
5558.74	60.6	\$12\$	6620.60	*****
5283.70	63.4	\$13\$	5789.31	*****
5166.66	66.1	\$14\$	5309.46	*****
4966.46	68.8	\$15\$	5259.79	*****
4839.63	71.3	\$16\$	4865.98	*****
4732.20	73.9	\$17\$	9717.80	*****
3684.88	75.8	\$18\$	8329.64	*****
3633.79	77.7	\$19\$	5147.74	*****
3544.25	79.6	\$20\$	3779.55	*****
38304.95	100.0	CLASSE RESIDUELLE		

Tableau 21: Description des classes de la partition initiale (explications dans le texte)

NUM.	AIN	BENJ	EFF.	POIDS	INDICE	HISTOGRAMME DES INDICES DE NIVEAU
21	13	20	2	9568.86	.00308	*
22	21	16	3	14434.84	.00526	**
23	6	3	2	26744.19	.00755	**
24	14	2	2	18228.42	.00796	**
25	4	5	2	27390.24	.00843	**
26	7	17	2	22790.21	.00984	***
27	11	22	4	21064.85	.01514	****
28	9	1	2	26914.20	.01867	*****
29	15	19	2	10407.53	.02739	*****
30	26	25	4	50180.44	.04313	*****
31	29	18	3	18737.17	.04321	*****
32	24	10	3	29981.89	.04566	*****
33	27	28	6	47979.05	.05950	*****
34	23	33	8	74723.23	.07211	*****
35	12	32	4	36602.50	.12880	*****
36	35	8	5	44395.34	.17642	*****
37	30	34	12	124903.70	.20164	*****
38	36	37	17	169299.00	.32862	*****
39	31	38	20	188036.20	.35810	*****
SOMME DES INDICES DE NIVEAU =						1.56053

Tableau 22: Description des noeuds de l'arbre d'agrégation hiérarchique (fig.47)

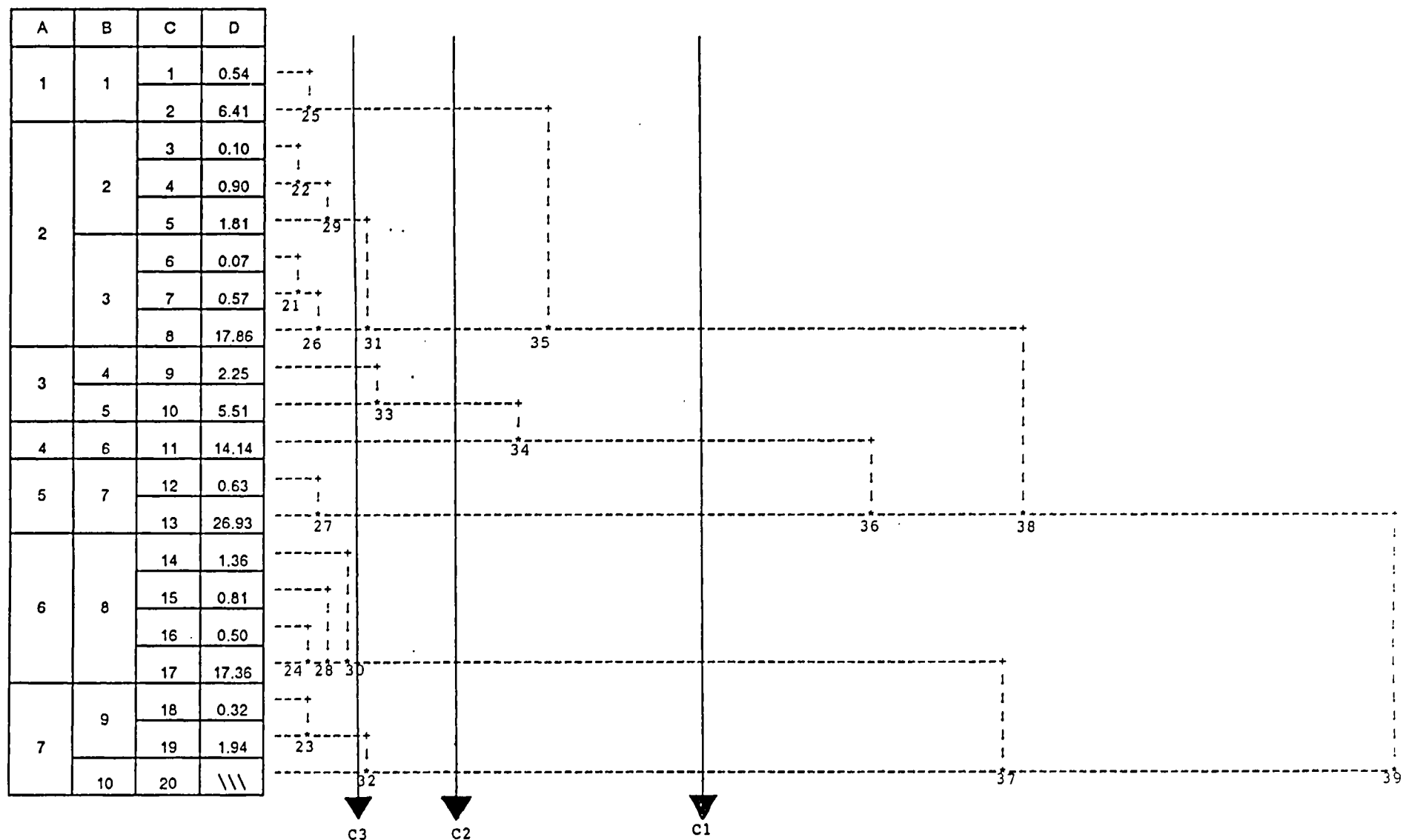


Figure 47: Classification des données UCPs. Arbre d'agrégation hiérarchique

A: Numéros des classes de la partition C2

B: Numéros des classes de la partition C3

C: Numéros des noeuds terminaux de l'arbre d'agrégation

D: Indices de niveau en pourcentages de la somme des indices

C1: Partition en 5 classes

C2: Partition en 7 classes

C3: Partition en 10 classes

4.3.6.2 - Coupure de l'arbre : Choix de la partition à décrire.

L'objectif ici est double : il s'agit en effet de choisir un nombre suffisant de classes permettant de décrire finement les données, tout en ayant les classes les plus homogènes possibles ;

L'examen de l'arbre d'agrégation (fig. 47) montre que la coupure C1 au dessus du noeud 35 conduit à la formation des classes les plus distinctes les unes des autres.

La perte d'inerties pour former les noeuds 36, 37 et 38 sont très fortes. Les écarts d'indices de niveau entre les noeuds situés de part et d'autre de C1 sont les plus importants.

Les 5 classes constituées ici ne sont cependant pas les plus homogènes, les indices de niveau des noeuds situés "sous" la coupure C1 étant relativement variables.

Nous avons en définitive choisi de décrire la partition en 7 classes issue de la coupure C2 du dendrogramme (fig. 47).

Cette coupure correspond à des sauts d'indices de niveau importants comme le confirme le tableau 22. De plus les indices des noeuds situés "sous" la coupure (21 à 33) sont peu variables et proches les uns des autres, ce qui indique que les classes formées sont homogènes.

Nous compléterons cette description en examinant les résultats de la coupure C3 (figure 47). Celle-ci conduite à une partition en 10 classes et permet de décrire plus finement certains ensembles issus de la coupure C2.

4.3.6.3 - Description des classes

La procédure DECLA du programme de classification fournie en annexe 6 permet de déterminer pour chaque classe les 20 modalités les plus caractéristiques.

Les tableaux présentant ces résultats (tableaux 23 à 29) indiquent pour chaque modalité caractéristique, 3 paramètres. Soit la classe C et la modalité M de la variable V :

- le paramètre CLA/MOD indique le pourcentage des individus ayant la modalité M et appartenant à C.

Plus ce pourcentage est élevé et plus M représente un caractère exclusif de C ;

- le paramètre MOD/CLA indique le pourcentage d'individus de classe C ayant la modalité M, ce qui sous-entend que les autres individus de C se partagent les modalités restantes de V.

Plus MOD/CLA est élevé et plus la modalité M discrimine bien la classe C ;

- le paramètre GLOBAL représente le pourcentage d'individus de l'ensemble de la population ayant la modalité M. M sera d'autant plus caractéristique de C que MOD/CLA sera différent de GLOBAL.

■ Classe 1/7 - "aa1a" (tableau 23)

Cette classe correspond aux zones montagneuses d'altitudes moyennes à fortes.

Les modalités A4 et A5 (altitudes supérieures à 400 m) représentent 72 % des individus de cette classe (colonne MOD/CLA). Si on considère la modalité A3 (300 - 400 m), on prend en compte alors 97 % des individus. On vérifie également que A4 et A5 sont représentés très fortement au sein de la classe aa1a (respectivement 65 % et 67 % des individus présentant ces modalités sont dans cette classe). Les autres traits caractéristiques de la classe aa1a sont, les sols ferralitiques de type 3 (15F3) et les zones non cartographiées pour la carte des sols à 1/20.000 (MOD/CLA et CLA/MOD à valeurs fortes). La modalité VN.D est largement représentée dans la classe 1 (MOD/CLA fort), bien qu'elle ne soit pas la caractéristique exclusive de cette classe (CLA/MOD faible).

Certaines modalités au contraire sont peu représentées dans la classe, mais présentent un caractère exclusif (5250, VE21).

La pluviométrie des zones correspondant à la classe 1 est élevée. Les modalités 4750 et 5250 (pluviométrie comprise entre 4500 et 5500 mm/an) sont exprimées par 54 % des individus de la classe (MOD/CLA).

Les principaux traits caractérisant la morphologie des versants sont les suivants :

- P10 et P15 (pentes moyennes comprises entre 10 et 20°). Ces modalités représentent 85 % des individus de la classe. 12 % des individus présentent des pentes plus élevées (P20) ;

- SP4 (écart type de pentes à valeur moyenne). Cette modalité représentée à 36 % indique que plus d'un tiers des versants sont irréguliers ;

- BEV1 (indices de Beven faibles), cette modalité est exprimée par 97 % des individus de la classe ;

MODALITES CARACTERISTIQUES		IDEN	POURCENTAGES			POIDS
			CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL	
CLASSE 1 / 7		aala				16.55 160376
Code Pedo 1/150000	Sols fer.3	15F3	55.81	97.72	28.98	280810
Pedo 1:25-Principaux types	Zones non cartograph	PTY	41.43	78.97	31.55	305721
Pedo 1:20-tous types	Zones non cartogrphi	Y20	41.43	78.97	31.55	305721
Altitude moyenne	400-500	A4	65.47	46.24	11.69	113266
Code pedo. 1/20000	Zones non cartogr.	50X	37.81	79.04	34.60	335229
Importance de la végétation naturelle	Form nat homogènes	VN.D	32.83	86.96	43.85	424824
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	5000-5500	5250	78.95	33.52	7.03	68081
Altitude moyenne	sup 500	A5	67.32	25.34	6.23	60375
Pente moyenne	15-20	P15	35.53	37.20	17.33	167931
Convexite verticale ecart	0-25	SCV0	35.44	32.92	15.38	148987
Altitude moyenne	300-400	A3	36.09	25.70	11.79	114193
Pente moyenne	10-15	P10	25.63	47.49	30.67	297183
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	4500-5000	4750	27.27	20.04	12.16	117812
Colluvions	Pas de colluv.	col0	17.02	100.00	97.28	942468
Types de végétation	For hygro sup	VE21	71.02	2.50	0.58	5650
Halloysite	Pas d'halloysite	hal0	17.39	94.05	89.55	867610
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	4000-4500	4250	22.01	18.44	13.87	134416
Convexite horizontale moyenne	-20 -10	CH1	29.31	2.96	1.67	16172
Code morphologique (pedo50)	Pentes sup. 50%	CM5	19.84	17.62	14.70	142380
Pente ecart	4-6	SP4	17.58	36.34	34.22	331583

Tableau 23: Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aala

- CM5 : cette variable issue de la carte des sols à 1/20.000, indique des pentes supérieures à 50 %.

■ Classe 2/7 - "aa2a" (tableau 24)

Cette classe couvre les zones d'altitudes moyennes. Les modalités A2 et A3 (altitudes comprises entre 200 et 400 m) représentent 74 % des individus de la classe (MOD/CLA).

La modalité A2 est très représentative dans la mesure où 64 % des individus ayant cette modalité sur la zone d'étude sont dans la classe 2 (CLA/MOD).

Les autres principales caractéristiques sont données par les modalités VE20 (forêt hygrophile inférieure dense), 15F2 (sols ferralitiques de type 2), VN.D (formations naturelles homogènes). Les modalités 15F2 et 15F3 couvrent 98 % des individus de la classe

Cet ensemble de caractères serait plutôt représentatif de zones situées en côte au vent.

La pluviométrie exprimée dans la classe 2 est légèrement inférieure à celle de la classe 1. Pour 93 % des individus de la classe, elle est comprise entre 3500 et 5000 mm/an.

Les principales caractéristiques morphologiques des versants sont les suivants :

- P5, P10 (pentcs comprises entre 5° et 15°). Ces modalités représentent 90 % des individus de la classe ;

- SP4 (fort écart type de pente) la présence de cette modalité pour 45 % des individus de la classe indique des versants irréguliers. 36 % des individus correspondent à des versants plus réguliers (SP2) ;

- BEV 1 : comme pour la classe 1 les indices de Beven sont faibles ;

- CV2 : 40 % des individus de la classe indiquent des versants à profils horizontaux légèrement concaves.

■ Classe 3/7 - "aa3a" (tableau 25)

Comme la classe 1, cette classe est caractérisée par des altitudes élevées. Les modalités A3, A4 et A5 (altitudes supérieures à 300 m) y sont exprimées par 70 % des individus.

Les modalités VN.C (cultures éparses), GE.P, 50E et 15E indiquent des zones situées en côte sous le vent.

La pluviométrie est a priori très variable au sein de la classe 3. Les deux modalités exprimées (3250 et 5250) ne concernent que 30 % des individus.

La morphologie des versants est dominée par les fortes pentes : P15, P20 et P25 (pentes entre 15 et 30°). Ces valeurs élevées concernent 89 % des individus. Les modalités SP8 et SP6 indiquent que ces versants sont très irréguliers.

■ Classe 4/7 - "aa4a" (tableau 26)

Cette classe est fortement caractérisée par des sols fersialitiques (50K, 15K) et des cultures éparses (VN.C). Les valeurs CLA/MOD et MOD/CLA sont très fortes pour ces 3 variables qui indiquent par ailleurs des zones situées en côte sous le vent.

Les autres caractéristiques de la classes sont :

- des altitudes moyennes à faibles (A2 et A1 représentent 77 % des individus. Ces modalités ne possèdent cependant pas de caractère exclusif par rapport à aa3a ;
- une pluviométrie faible. Pour 82 % des individus, celle-ci est inférieure à 3000 mm/an ;
- des pentes à valeurs moyennes (P15 - 54 % des individus de la classe) mais très variables (SP6 et SP8) ;
- des indices de Beven faibles (BEV1) ;
- des versants faiblement convexes (CV3).

■ Classe 5/7 - "aa5a" (tableau 27)

Cette classe est fortement caractérisée par les vertisols (15V et 50V) et la forêt xérophile (CLA/MOD et MOD/CLA forts). Les modalités indiquent comme précédemment, la côte sous le vent.

MODALITES CARACTERISTIQUES		IDEN	POURCENTAGES		POIDS	
			CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL	
CLASSE 2 / 7		aa2a				23.30 225721
Types de végétation	For hygro inf dense	VE20	47.55	85.33	41.81	405090
Altitude moyenne	200-300	A2	64.01	60.85	22.15	214560
Code Pedo 1/150000	Sols fer.2	15F2	53.39	67.15	29.30	283909
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	4000-4500	4250	62.78	37.38	13.87	134416
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	4500-5000	4750	59.71	31.17	12.16	117812
Pente moyenne	10-15	P10	38.68	50.92	30.67	297183
Pedo 1:20-tous types	29F18	FAYP	81.00	8.73	2.51	24322
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	3500-4000	3750	41.24	24.93	14.08	136436
Pedo 1:20-tous types	31F20	FPZ	100.00	2.84	0.66	6409
Pente ecart	2-4	SP2	33.28	35.74	25.02	242437
Pente ecart	4-6	SP4	30.60	44.95	34.22	331583
Colluvions	Pas de colluv.	col0	23.95	100.00	97.28	942468
Pedo 1:20-tous types	24F13	FBY	100.00	1.42	0.33	3198
Pente moyenne	5-10	P5	28.27	39.19	32.30	312910
Convexite verticale moyenne	-10 0	CV2	27.07	40.30	34.69	336070
Pedo 1:20-tous types	27F16	FAZ	100.00	0.47	0.11	1063
Pedo 1:25-Principaux types	Ferr.tA	PTFA	29.32	15.10	11.99	116195
Code morphologique (pedo50)	Idem + micro relief	CM3	30.89	7.27	5.48	53103
Altitude moyenne	300-400	A3	25.97	13.14	11.79	114193
Code Pedo 1/150000	Sols fer.3	15F3	24.67	30.70	28.98	280810

Tableau 24: Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aa2a

MODALITES CARACTERISTIQUES		IDEN	POURCENTAGES			POIDS
			CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL	
CLASSE 3 / 7		aa3a				12.14 117610
Importance de la végétation naturelle	Cultures éparses	VN.C	49.81	96.81	23.59	228602
Code Pedo 1/150000	Sols fer.	15F0	32.21	44.55	16.79	162657
Pedo 1:20-tous types	Zones non cartogrphi	Y20	23.96	62.29	31.55	305721
Pedo 1:25-Principaux types	Zones non cartograph	PTY	23.96	62.29	31.55	305721
Altitude moyenne	300-400	A3	33.06	32.10	11.79	114193
Pente ecart	8-10	SP8	34.90	27.31	9.50	92044
Pedo 1:20-tous types	32F21	FCP	86.76	5.77	0.81	7815
Pedo 1:20-tous types	33F22	FCQ	86.48	5.37	0.75	7300
Code pedo. 1/20000	Sols fer. compacts	50E	60.26	6.80	1.37	13272
Altitude moyenne	400-500	A4	25.10	24.18	11.69	113266
Code Pedo 1/150000	Sols fer.3	15F3	18.92	45.17	28.98	280810
Pente ecart	6-8	SP6	19.18	41.00	25.95	251413
Altitude moyenne	sup 500	A5	27.48	14.11	6.23	60375
Colluvions	Pas de colluv.	co10	12.48	100.00	97.28	942468
Code Pedo 1/150000	Sols fer. compaact	15E	40.51	3.69	1.11	10715
Halloysite	Halloysite	hal1	19.23	16.56	10.45	101270
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	3000-3500	3250	17.63	21.18	14.58	141284
Pente moyenne	15-20	P15	16.75	23.92	17.33	167931
Pedo 1:20-tous types	30F19	FPX	81.82	0.60	0.09	864
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	5000-5500	5250	14.53	8.41	7.03	68081

Tableau 25: Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aa3a

MODALITES CARACTERISTIQUES		IDEN	POURCENTAGES			POIDS
			CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL	
CLASSE 4 / 7		aa4a				5.27 51046
Code pedo. 1/20000	Sols fersial.	50K	97.57	81.56	4.40	42669
Code Pedo 1/150000	sols fer. mont. ka	15K	83.77	79.88	5.02	48674
Importance de la végétation naturelle	Cultures éparses	VN.C	22.12	99.05	23.59	228602
Pedo 1:20-tous types	41K1	K	96.18	29.08	1.59	15433
Pente moyenne	15-20	P15	16.37	53.86	17.33	167931
Altitude moyenne	200-300	A2	14.20	59.69	22.15	214560
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	2000-2500	2250	16.97	40.13	12.46	120735
Indice de beeven moyen	1 2	BEV1	7.71	83.71	57.22	554339
Code Pedo 1/150000	Sols fer. compaact	15E	38.85	8.16	1.11	10715
Pente ecart	6-8	SP6	9.54	47.00	25.95	251413
Code pedo. 1/20000	Sols fer. compacts	50E	31.17	8.10	1.37	13272
Halloysite	Pas d'hallowysite	ha10	5.76	97.93	89.55	867610
Indice de beeven moyen	0 1	BEV0	11.82	16.29	7.26	70374
Code morphologique (pedo50)	Pentes 20% 50%	CM4	8.44	34.61	21.61	209348
Pedo 1:20-tous types	50E3	EHP	27.44	3.34	0.64	6208
Pedo 1:20-tous types	51E4	EC	40.98	0.95	0.12	1180
Convexite verticale moyenne	0 10	CV3	6.15	45.68	39.10	378853
Altitude moyenne	100-200	A1	6.44	27.38	22.39	216886
Pedo 1:20-tous types	53E6	ECQ	21.79	0.85	0.20	1982
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	inf 2000	1750	7.60	5.45	3.77	36566

Tableau 26: Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aa4a

MODALITES CARACTERISTIQUES		IDEN	POURCENTAGES			POIDS
			CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL	
CLASSE 5 / 7		aa5a				4.57 44273
Code Pedo 1/150000	Vertisols	15V	95.38	93.11	4.46	43218
Pedo 1:20-tous types	38V2	VC	96.41	37.72	1.79	17321
Importance de la végétation naturelle	Cultures éparses	VN.C	16.11	83.16	23.59	228602
Pedo 1:20-tous types	40V4	VS	98.90	25.68	1.19	11496
Pente moyenne	15-20	P15	16.93	64.21	17.33	167931
Indice de beeven moyen	1 2	BEV1	7.73	96.74	57.22	554339
Pedo 1:20-tous types	39V3	VM	98.86	10.28	0.48	4602
Pedo 1:20-tous types	37V1	V	86.33	5.95	0.31	3049
Halloysite	Pas d'halloysite	hal0	5.10	100.00	89.55	867610
Convexite verticale moyenne	0 10	CV3	7.24	61.95	39.10	378853
Altitude moyenne	0-100	A0	8.01	45.19	25.77	249658
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	inf 2000	1750	86.51	71.45	3.77	36566
Altitude moyenne	100-200	A1	7.93	38.85	22.39	216886
Pente ecart	8-10	SP8	10.20	21.20	9.50	92044
Code morphologique (pedo50)	Idem + micro relief	CM3	9.15	10.97	5.48	53103
Code Pedo 1/150000	Alluvions marines	15D	16.70	3.11	0.85	8239
Pedo 1:20-tous types	35D1	DG	17.52	1.56	0.41	3946
Pedo 1:20-tous types	34F23	FPY	14.78	0.85	0.26	2544
Pedo 1:20-tous types	Zones urbanisees	X20	7.31	3.89	2.43	23584
Pedo 1:25-Principaux types	Zones urbanisees	PTX	7.31	3.89	2.43	23584

Tableau 27: Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aa5a

La modalité VN.C (cultures éparées) est largement représentée au sein de la classe 5, sans cependant en être une caractéristique exclusive.

Les autres caractéristiques de la classe sont :

- des altitudes faibles, inférieures à 200 m (A0 et A1 représentent 84 % des individus de la classe) ;
- des falaises volcaniques à végétation xérophile (VE07). Cette modalité est faiblement représentée (11 %) mais constitue un caractère exclusif de la classe 5 ;
- une pluviométrie faible inférieure à 2000 mm/an (1750 - 71 % des individus de la classe) ;
- des pentes à valeurs moyennes (P15 - MOD/CLA = 64 %) et très variables (SP6 - SP8) ;
- des versants à profils horizontaux convexes (CH4) et réguliers (SCH1) ;
- des versants à profils verticaux faiblement convexes (CV3).

Classe 6/7 - "aa6a" (tableau 28)

Les principaux traits caractéristiques de cette classe sont :

- les boisements résiduels (VN.A) ;
- des pentes faibles (P5) ;
- des altitudes faibles (A0 et A1) ;
- une pluviométrie moyenne comprise entre 2500 et 3000 mm/an.

La présence de la modalité VN.A indique la côte au vent.

La classe 6 couvre également des zones où sont largement représentés les modalités GE.I (Complexe Volcanique Antémioène) et les sols ferralitiques (50F, 15F0, 15F1 et 15F2).

La présence des modalités SP2 et SP4 (exprimées pour 70 % des individus de la classe) indique des versants à pentes peu variables, ce qui est confirmé par la modalité SCH2.

Classe 7/7 - "aa7a" (tableau 29)

Cette classe représente les zones littorales, en majorité situées en côte au vent. Elle est en effet caractérisée principalement par :

- une dominance de cultures (VN.A) ;
- des pentes et des altitudes faibles à très faibles (P0, A0) ;
- des alluvions continentales (GE.A, 15.A, 40 A) ;
- des indices de Beven moyens à forts (BEV2, BEV3) ;
- des versants à profils verticaux concaves (CVG0, CV0) et à pentes régulières (SP0, SP2).

Certaines modalités sont faiblement représentées mais constituent des caractères exclusifs de la classe (MOD/CLA faible et CLA/MOD fort) ; CH5 (versants à profils horizontaux convexes), SPO (écart-types de pentes faibles à nuls au sein des versants) et 50D (zones à alluvions marines).

Synthèse des résultats

La description des classes permet de confirmer les principales oppositions entre groupes de variables apparues lors de la description des axes factoriels de l'AFC.

On peut résumer cette description en énonçant de manière synthétique les caractéristiques essentielles de chacune des classes.

■ Classe aa1a

Il s'agit de zones d'altitudes moyennes à fortes, à pluviométrie élevée, à pentes moyennes et à végétation naturelle homogène. Rien ne permet de situer précisément ces zones en côte au vent ou sous le vent.

■ Classe aa2a

Cette classe concerne les zones d'altitudes moyennes en côte au vent, couvertes par la forêt hygrophile inférieure dense et présentant une pluviométrie moyenne à forte. Les pentes y sont en général faibles.

■ Classe aa3a

Elle couvre, comme la classe 1, des zones d'altitudes moyennes à fortes. Ces zones sont situées en côte sur le vent et présentent des cultures

MODALITES CARACTERISTIQUES		IDEN	POURCENTAGES			POIDS
			CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL	
CLASSE 6 / 7		aa6a				28.96 280554
Importance de la végétation naturelle	Boisements residuels	VN.B	90.87	76.02	24.22	234690
Pente moyenne	5-10	P5	63.12	70.40	32.30	312910
Code Pedo 1/150000	Sols fer.1	15F1	96.86	27.94	8.35	80919
Altitude moyenne	100-200	A1	61.81	47.78	22.39	216886
Code lithologique	Compl volc ant Mioc	GE.I	40.97	87.04	61.52	596011
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	3000-3500	3250	68.71	34.60	14.58	141284
Convexite verticale ecart	50-75	SCV2	64.50	38.76	17.40	168598
Code pedo. 1/20000	Sols fer. friables	50F	43.35	76.89	51.36	497637
Altitude moyenne	0-100	A0	55.34	49.25	25.77	249658
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	2500-3000	2750	61.75	38.30	17.96	174034
Pedo 1:25-Principaux types	Ferr.in	PTF	47.56	49.05	29.86	289308
Code Pedo 1/150000	Sols fer.2	15F2	46.18	46.73	29.30	283909
Pedo 1:25-Principaux types	Ferr.tA	PTFA	57.98	24.02	11.99	116195
Code morphologique (pedo50)	Pentes 5% 20%	CM2	53.96	25.07	13.45	130324
Pente ecart	2-4	SP2	40.10	34.65	25.02	242437
Code Pedo 1/150000	Sols fer.	15F0	38.17	22.13	16.79	162657
Pedo 1:25-Principaux types	reponse manquante	21	97.52	0.64	0.19	1846
Code Pedo 1/150000	Agglomerations	15X	48.37	1.51	0.90	8733
Code morphologique (pedo50)	Pentes inf. 5%	CM1	32.24	11.54	10.36	100407
Pente ecart	4-6	SP4	30.23	35.72	34.22	331583

Tableau 28: Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aa6a

MODALITES CARACTERISTIQUES		IDEN	POURCENTAGES			POIDS
			CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL	
CLASSE 7 / 7		aa7a			9.22	89367
Importance de la végétation naturelle	Dominance cultures	VN.A	80.47	72.77	8.34	80812
Pente moyenne	0-5	P0	82.68	69.75	7.78	75395
Altitude moyenne	0-100	A0	35.60	99.45	25.77	249658
Indice de beeven moyen	3 4	BEV3	91.98	51.93	5.21	50455
Code lithologique	Alluvions cont.	GE.A	57.03	68.46	11.07	107292
Code Pedo 1/150000	Alluvions continen	15A	91.60	42.10	4.24	41071
Code pedo. 1/20000	Alluvions cont.	50A	93.25	38.77	3.83	37153
Pente ecart	0-2	SP0	67.45	28.55	3.90	37830
Code Pedo 1/150000	Sols fer.	15F0	24.32	44.27	16.79	162657
Pedo 1:25-Principaux types	All.tB	PTAB	94.80	6.41	0.62	6047
Code Pedo 1/150000	Alluvions marines	15D	81.09	7.48	0.85	8239
Pedo 1:25-Principaux types	All.mar.in	PTD	82.05	5.96	0.67	6491
Pedo 1:25-Principaux types	All.in	PTA	93.22	3.23	0.32	3093
Pedo 1:20-tous types	35D1	DG	80.01	3.53	0.41	3946
Code Pedo 1/150000	Agglomerations	15X	51.37	5.02	0.90	8733
Pluviométrie moyenne inter-annuelle	2500-3000	2750	15.98	31.12	17.96	174034
Pedo 1:20-tous types	34F23	FPY	85.22	2.43	0.26	2544
Pente ecart	2-4	SP2	14.01	38.02	25.02	242437
Indice de beeven moyen	2 3	BEV2	11.92	38.40	29.72	287980
Pedo 1:25-Principaux types	Ferr.tD	PTFD	34.61	1.57	0.42	4044

Tableau 29: Liste des 20 modalités les plus caractéristiques de la classe aa7a

éparses, des cendres et lapilli dacitiques et des sols ferralitiques compacts. Les pentes y sont moyennes à fortes et la pluviométrie est très variable.

■ Classe aa4a

Cette classe représente des zones d'altitudes moyennes à faibles en côte sous le vent, principalement caractérisées par des sols fersialitiques et des cultures éparses.

La pluviométrie est faible et les pentes sont en général très variables.

■ Classe aa6a

Cette classe correspond aux zones de faibles altitudes en côte au vent où dominent les boisements résiduels, une pluviométrie moyenne, le complexe volcanique Antémioène de la Basse-Terre et les sols ferralitiques.

■ Classe aa7a

Les régions concernées ici correspondent aux zones basses littorales, celles-ci étant situées principalement en côte au vent.

La classification des données nominales de la zone test permet de distinguer différents ensembles décrits essentiellement en terme d'altitudes et de situation géographique (côte au vent ou côte sous le vent).

La plupart des classes peuvent être caractérisées par un ensemble de modalités ayant chacune sensiblement la même importance.

Les classes correspondant à la côte au vent (aa3a, aa4a et aa5a) sont par contre plus "typées". Elles sont en effet fortement caractérisées par un faible nombre de modalités (2 ou 3).

La description et l'interprétation de chaque classe a été effectuée en analysant leurs 20 modalités les plus caractéristiques. Celles-ci correspondent, au sein des classes, à des fréquences fortes ou faibles ou encore très différentes de celles observées sur l'ensemble de la zone d'étude.

Une telle analyse est cependant insuffisante pour une description fine et complète.

En effet, il est impossible d'analyser globalement la répartition de l'ensemble des modalités d'une variable au sein d'une classe.

Cette contrainte est particulièrement pénalisante pour la description de la morphologie des versants au sein des classes qui nécessite une analyse combinée de plusieurs paramètres.

La figure 48 offre une vision complète des résultats de la classification : pour chaque classe et pour chaque variable sont éditées les fréquences correspondant à l'ensemble des modalités.

4.3.6.4 - Visualisation des classes sur la zone d'étude

4.3.6.4.1 - Partition en 7 classes

La figure 49 montre le résultat cartographique de la partition en 7 classes de la zone test. Cette carte est présentée sur un extrait du fond IGN à 1/100.000 de la Basse-Terre.

■ Classe aa1a

Elle couvre des zones d'altitudes élevées situées principalement en côte au vent, comprenant le massif des Mamelles, les mornes Cézanne, Léger et George.

Cette classe couvre également quelques zones situées en côte sous le vent, au nord des Mamelles et en direction du Morne à Louis. On constate une certaine inter-pénétration aux limites est et ouest des zones de la classe aa1a avec celles des classes adjacentes (aa2a et aa3a).

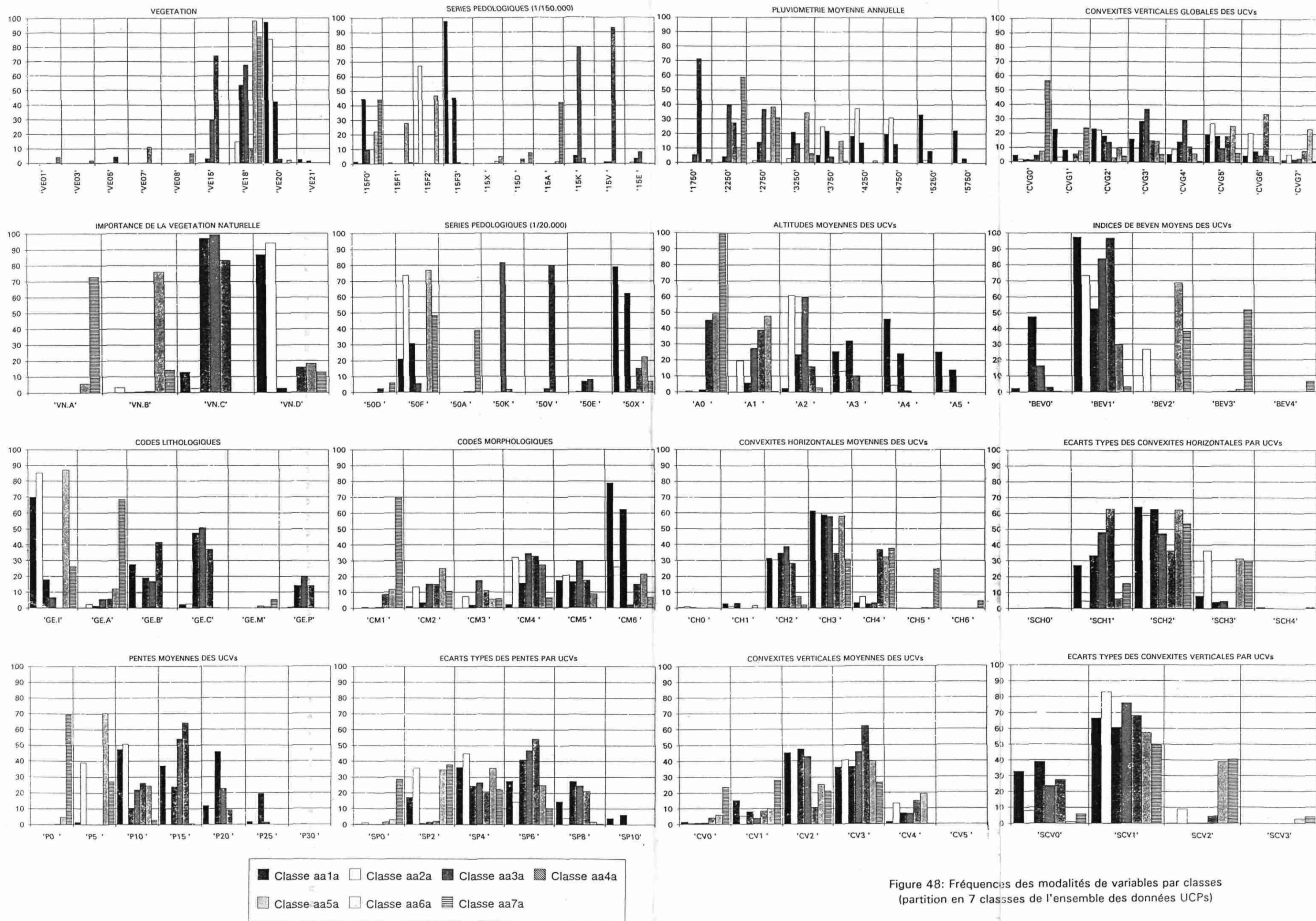
■ Classe aa2a

Cette classe couvre presque essentiellement des zones d'altitudes moyennes situées en côte au vent. Quelques zones d'extension très limitée sont présentes autour du Massif de Morne à Louis.

La classe aa2a est pour une très large part, représentée au sein des limites du Parc National de la Guadeloupe, ce qui sous-entend une végétation comprenant principalement des formations naturelles homogènes.

■ Classe aa3a

Elle concerne les zones de moyennes et hautes altitudes en côte sous le vent.



**Voir calque
dans document
papier**

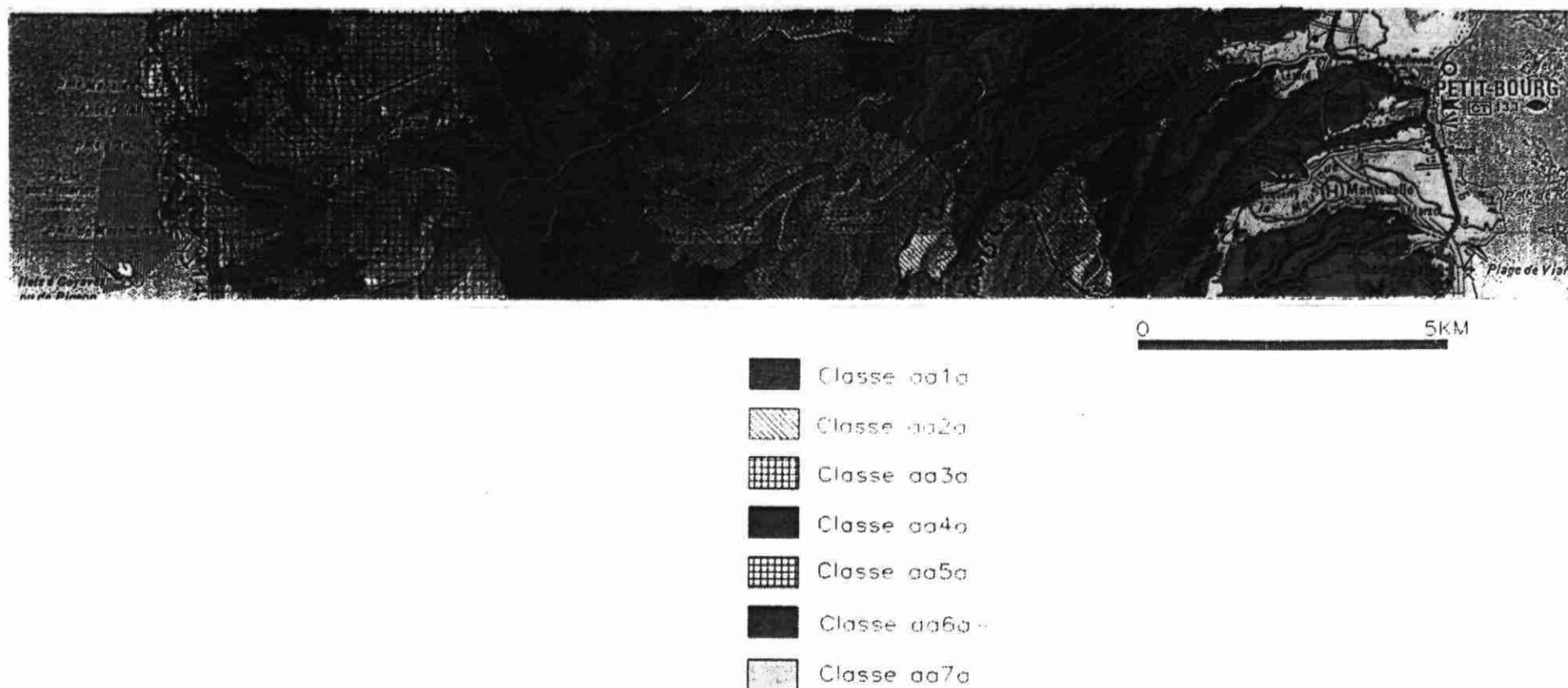
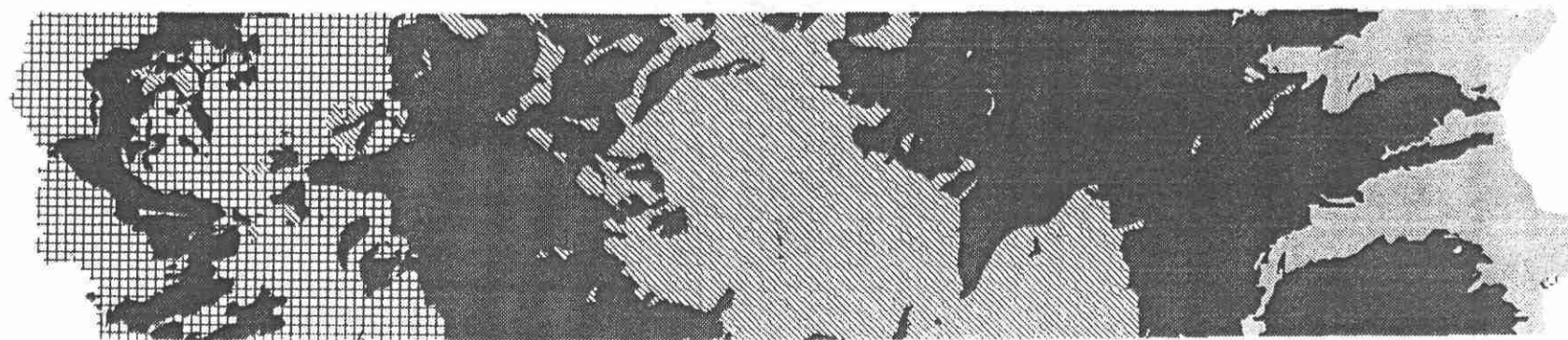
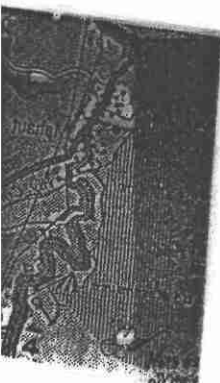


Figure 49 : Résultat cartographique d'une partition en 7 classes de la zone test (classification de l'ensemble des données UCPs)



-  Classe aa1a
-  Classe aa2a
-  Classe aa3a
-  Classe aa4a
-  Classe aa5a
-  Classe aa6a
-  Classe aa7a

Figure 49 : Résultat cartographique d'une partition en 7 classes de la zone test (classification de l'ensemble des données UCPs)

■ Classe aa4a

Les zones correspondant à cette classe sont situées en côte sous le vent et se présentent sous forme d'une bande large de 1 km environ, limitant à l'ouest les zones couvertes par la classe aa3a.

■ Classe aa5a

Cette classe concerne également la côte sous le vent. Elle couvre les zones proches du littoral à l'ouest de la zone test, présentant cependant un relief "montagneux".

■ Classe aa6a

Les régions correspondant à la classe aa6a sont situées en côte au vent. Il s'agit de zones d'altitudes faibles et de reliefs peu marqués où dominent les secteurs urbanisés, les cultures et les boisements résiduels.

■ Classe aa7a

Il s'agit des zones basses littorales et alluviales situées en côte au vent. Une zone d'extension très limitée présentant les mêmes caractéristiques est visible en côte sous le vent au niveau des quartiers Galet et Malendure.

4.3.6.4.2 - Partition en 10 classes

A partir de l'arbre d'agrégation (fig. 47), nous avons choisi de décrire de manière détaillée une partition en 7 classes.

La coupure C3 de cet arbre (fig. 47) conduit à une partition en 10 classes dont le résultat cartographique est représenté sur la zone test par la figure 50.

Une telle opération permet de mettre en évidence deux sous-ensembles au sein de chacune des classes aa2a, aa3a et aa7a.

Sous-ensembles de la classe aa2a

L'ensemble aa2a-1 se distingue essentiellement de aa2a-2 par :

■ des valeurs plus élevées de modalités des variables :

- pluviométrie ;
- d'altitude ;
- d'écart-types de pente au sein des UCVs ;
- de pente moyenne ;

■ une opposition entre les modalités :

- BEV1 et BEV2 ;
- 15F3 et 15F2.

Il est donc possible de distinguer au sein de la classe aa2a, les zones montagneuses à relief très marqué (aa2a-1) des zones à reliefs plus "mous".

Cette distinction est particulièrement remarquable à l'est de la rivière Lézarde (fig 51-a)

Sous-ensembles de la classe aa3a

aa3a-1 se distingue principalement de aa3a-2 par :

■ des valeurs moins élevées de modalités des variables :

- pluviométrie ;
- de pente moyenne ;
- d'altitude ;
- d'écart-types de pente ;

■ une opposition entre les modalités :

- BEV0 et BEV1 ;
- GE.C (coulées de lave) et GE.P (Ponces et lapilli).

Pour la classe aa3a, la distinction en les deux sous-ensembles est de même nature que précédemment (fig. 51-b) et semble être liée ici à une opposition lithologique.

Sous-ensembles de la classe aa7a

Cette classe couvre les zones basses littorales et alluviales situées principalement en côte au vent.

Le sous-ensemble aa7a-1 se distingue essentiellement de aa7a-2 par :

■ des valeurs sensiblement plus élevées de modalités des variables :

- pluviométrie ;
- pente moyenne ;
- altitude moyenne ;

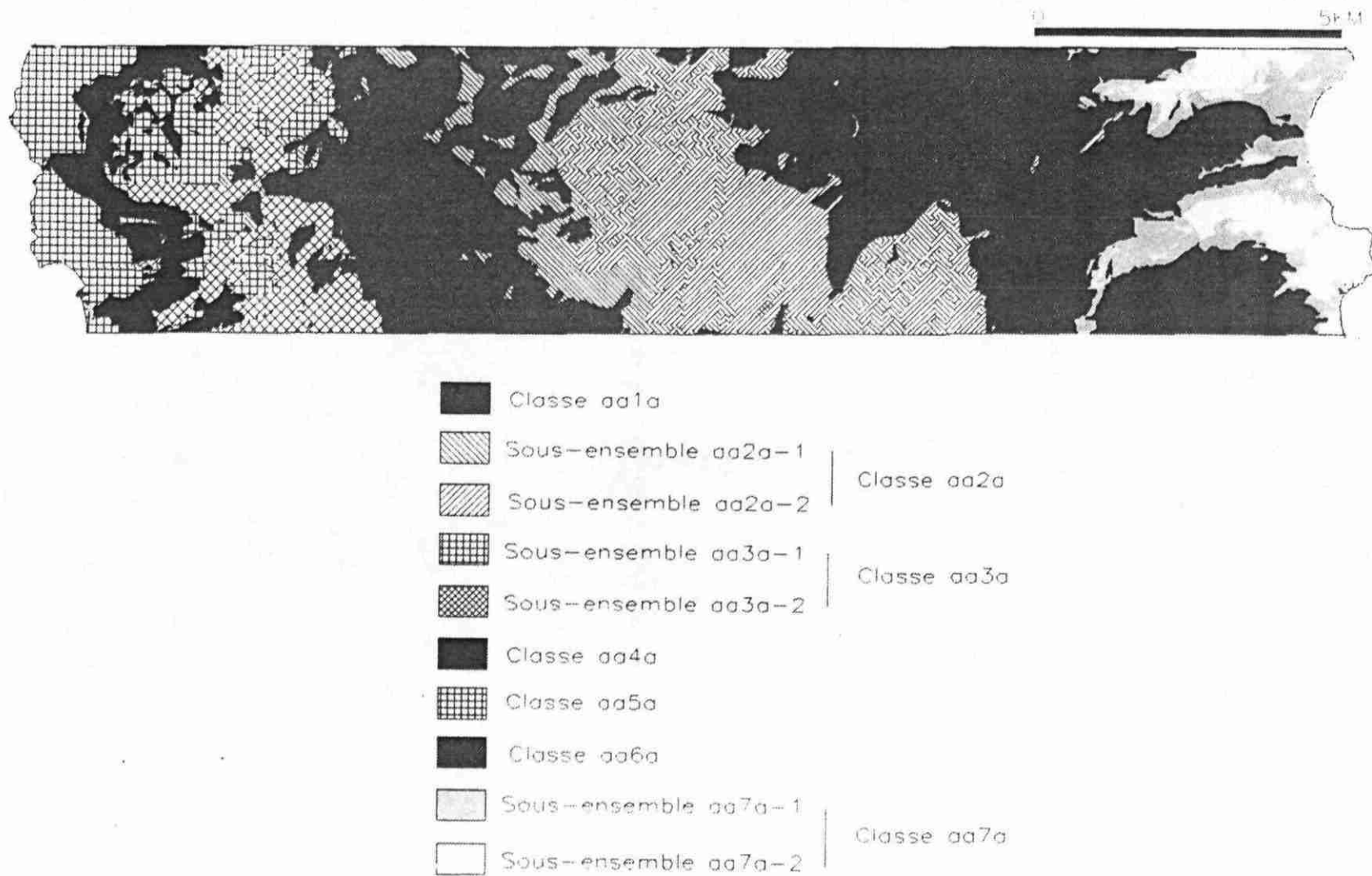


Figure 50 : Résultat cartographique d'une partition en 10 classes de la zone test (classification de l'ensemble des données UCPs)

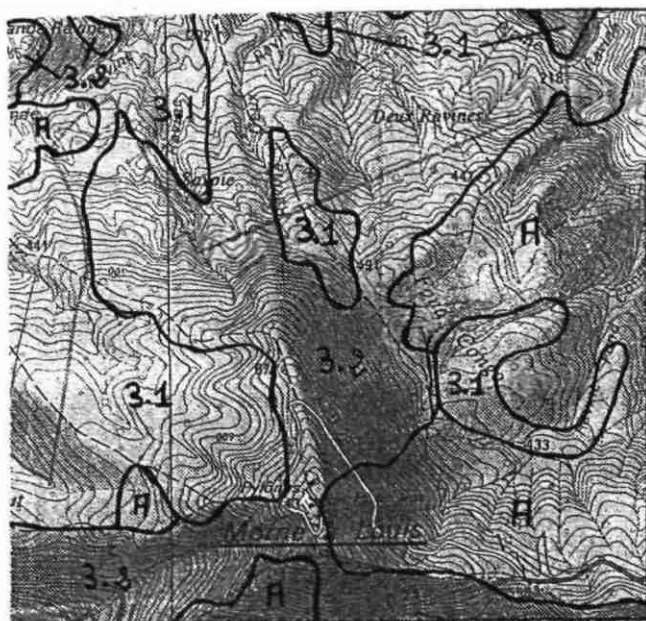


51-a: Extrait de la classe aa2a

2.1: Sous-ensemble aa2a-1

2.1: Sous-ensemble aa2a-2

A: Autres classes

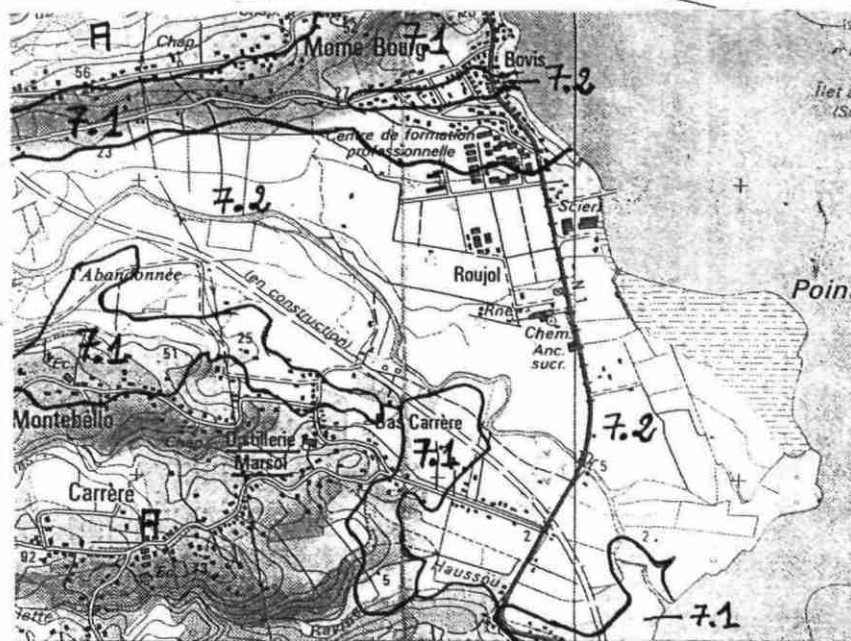


51-b: Extrait de la classe aa3a

3.1: Sous-ensemble aa3a-1

3.1: Sous-ensemble aa3a-2

A: Autres classes



51-c: Extrait de la classe aa7a

7.1: Sous-ensemble aa7a-1

7.1: Sous-ensemble aa7a-2

A: Autres classes

Figure 51: Représentation de 3 extraits de sous-ensembles au sein des classes aa2a, aa3a et aa7a (fond IGN n° 4605G à 1/25000)

■ des valeurs moins élevées de modalités de convexités horizontales et de leurs écart-types par UCVs ;

■ une opposition entre les modalités :

- 50 F (sol ferralitiques) et 50A (alluvions continentales) ;
- VN.B (Boisements résiduels) et VN.A (dominances de cultures) ;
- BEV2 et BEV3 ;
- GE.I (Complexe volcanique Antémiocène) et GE.A (Alluvion continentales).

Comme le montre la figure 51-c, le sous-ensemble aa7a-1 correspond aux versants pentus à sols ferralitiques limitant les fonds de vallées alluviales à fonds plats (aa7a-2).

La visualisation, à titre d'exemple, des résultats de la partition en 10 classes montre l'intérêt offert par la coupure à plusieurs niveaux de l'arbre d'agrégation, issu de la classification des données afin de décrire de manière plus ou moins détaillée le territoire étudié.

4.3.7 - Conclusions

Au cours de ce chapitre, l'ensemble des données (morphologiques et thématiques) disponibles sur la zone test ont été analysées par Analyse Factorielle des Correspondances multiples et classification automatique. L'AFC a permis dans un premier temps d'identifier des variables peu discriminantes pour décrire la zone d'étude. Il s'agit de 5 variables relatives à la morphologie des versants (écart-types des pentes, moyennes et écart-types des convexités verticales et horizontales) ainsi que les variables issues de la carte des sols à 1/20.000 de la Basse-Terre (présence de colluvions et présence d'halloysite - PRTYP et TSTYP).

Ces variables sont jugées peu discriminantes dans la mesure où elles présentent des modalités à poids fort présentant une répartition uniforme sur le territoire étudié et/ou des modalités à poids trop faible.

Il est surprenant ici de trouver un nombre important de variables relatives à la morphologie, alors qu'elles étaient significatives lors de l'Analyse en Composantes principales. On peut penser que la discrétisation de ces variables a entraîné une perte d'information qui affecte leur signification globale. Nous discuterons au chapitre suivant de la meilleure façon d'intégrer les données morphologiques à l'analyse.

Les variables issues de la carte des sols à 1/20.000 sont peu discriminantes. L'AFC a permis de montrer en outre, qu'elles étaient redondantes les unes par rapport aux autres (excepté la variable MORPH).

Un autre niveau de redondance a également été reconnu entre les variables PEDO20 et PEDO150, cette dernière étant issue de la carte des sols à 1/150.000 de la Guadeloupe.

Il apparaît donc que les données issues de la carte des sols à 1/20.000, bien que très détaillées, ne sont pas indispensables. Elles ne seront pas prises en compte dans le cadre d'une généralisation de l'AFC à l'ensemble de la Basse-Terre.

Ce résultat est important dans la mesure où, au sein de la base de données constituée sur la zone test, la carte des sols à 1/20.000 correspond à la plus grande échelle utilisée impliquant des temps de numérisation les plus importants et une gestion informatique lourde. Cette carte est également celle ayant généré le plus grand nombre de variables.

La description des axes ainsi que la représentation des modalités sur les différents plans factoriels a permis une première interprétation. On met alors en évidence des groupes de modalités dont la signification s'exprime en terme répartition géographique (zone littorale au vent, zones, particulières en côte sous le vent, zones montagneuses...).

La classification automatique appliquée au résultat de l'AFC permet de formaliser ces résultats de manière objective.

Sept classes correspondant à des unités thématiques et morphologiques homogènes sont délimitées.

Celles-ci présentent une grande homogénéité spatiale et une logique de répartition géographique sur la zone test :

- zones littorales et alluviales (principalement en côte au vent) ;
- zones de moyennes altitudes en côte au vent ;
- zones d'altitudes élevées, à relief marqué et à végétation naturelle homogène en côte au vent ;
- zones de fortes altitudes en côte sous le vent ;
- zones d'altitudes moyennes à sols fersialitiques et cultures éparses ;
- zone de faibles altitudes à vertisols et forêt xérophile.

Trois classes ont fait l'objet d'une analyse fine qui a conduit à distinguer, pour chacune d'elles, deux sous-ensembles. La distinction porte essentiellement dans chaque cas, sur des critères d'altitude et de morphologie soulignés par des contrastes lithologiques ou pédologiques.

Nous ne reviendrons pas ici sur l'intérêt de la délimitation automatique d'unités cartographiques homogènes. Cet aspect a été développé en

conclusion du chapitre 4.2 (Typologie des versants par Analyse en Composantes Principales).

La partition de la zone test en 7 ensembles, par AFC et classification, a été effectuée en première approche avec le souci d'intégrer la totalité des données disponibles. La prise en compte des données morphologiques a cependant été problématique :

- leur discrétisation a entraîné une perte d'information ayant conduit à les considérer de manière partielle au cours de l'AFC ;
- la distinction des ensembles délimités sur la zone d'étude, sur des critères morphologiques n'est pas évidente. Il semble que ces critères interviennent principalement au niveau de chaque ensemble afin de distinguer des sous-zones.

Le chapitre suivant sera donc consacré à analyser séparément les effets de l'AFC et de la classification avec les variables morphologiques et thématiques.

Une comparaison sera également effectuée avec les résultats de l'ACP concernant la morphologie des versant.

4.4 - Comparaisons entre données morphologiques et plurithématiques

4.4.1 - Introduction

Ce chapitre est destiné à étudier séparément et à comparer les analyses des données morphologiques et thématiques afin de proposer in fine une méthode de délimitation d'unités cartographiques homogènes intégrant de manière optimale l'ensemble des paramètres.

Les AFC supplémentaires présentées ici ne concernent qu'une partie des variables (tableau 30). Ces analyses sont cependant effectuées à partir de la table associée à la carte des UCPs. La sélection des variables s'opère au niveau de la procédure SELEC du programme SPAD.N (annexe 6).

Nous n'examinerons pas les différentes étapes des analyses effectuées. Les comparaisons porteront directement sur les représentations cartographiques, sur le zone test, des classifications.

4.4.2 - AFC et classification des données morphologiques

Les variables sélectionnées sont les mêmes que celles utilisées pour la typologie des versants par ACP (tableau 30 - colonnes A et B).

La figure 52 montre le résultat cartographique de cette analyse sur la zone test. Une comparaison avec la figure 37 (ACP et classification en 9 classes des données morphologiques rapportées aux UCVs) montre une plus grande hétérogénéité spatiale des données UCPs pour un nombre cependant moins important de classes. On remarque également que la disposition des classes diffère d'une carte à l'autre.

Cette non correspondance est soulignée par le tableau croisant les résultats des deux classifications (tableau 31).

La carte la plus fiable est a priori celle concernant le traitement des données UCVs par ACP et classification. Les traitements sont en effet effectués sur des variables se présentant sous forme continue.

Ces variables ont été discrétisées, afin de faire l'objet d'une AFC, ce qui implique une perte d'information. Cette opération a en effet été effectuée en considérant un nombre donné d'intervalles égaux entre les valeurs minimales et maximales des variables continues. Les différentes valeurs au sein de chaque intervalle sont alors ramenées à une expression unique. On génère ainsi des modalités à très faible poids (représentée par peu d'individus) donc peu significatives ou au contraire des modalités à poids fort se répartissant de manière uniforme, qui perdent alors tout caractère discriminant.

La comparaison des cartes d'unités morphologiques homogènes (figs. 37 et 52), avec celle montrant les résultats de la classification englobant l'ensemble des variables (traitement des données UCPs - fig. 49), montre que cette dernière est en fait peu conditionnée par la morphologie.

Elle présente en effet des ensembles spatialement très homogènes, contrastant nettement avec le morcellement des unités morphologiques. Comme il a été vu en conclusion du chapitre précédent, il est toutefois possible de mettre en évidence au sein des ensembles, des sous-zones présentant des morphologies différentes.

Iden. des analyses dans le texte			A	B	C	D	E	F
Types de traitement			ACP	AFC	AFC	AFC	AFC	ACP + AFC
Nature des variables	Données morphologiques	Nominales						
		Continues						
	Altitude	Nominales						
		Continues						
	Données thématiques	Nominales						
Figures correspondantes			37	52	53	54	49	56

Les cases grisées ne sont pas concernées par les analyses

Tableau 30: Synthèse des différentes analyses multi-variées effectuées sur la base de données de la zone test (explications dans le texte)

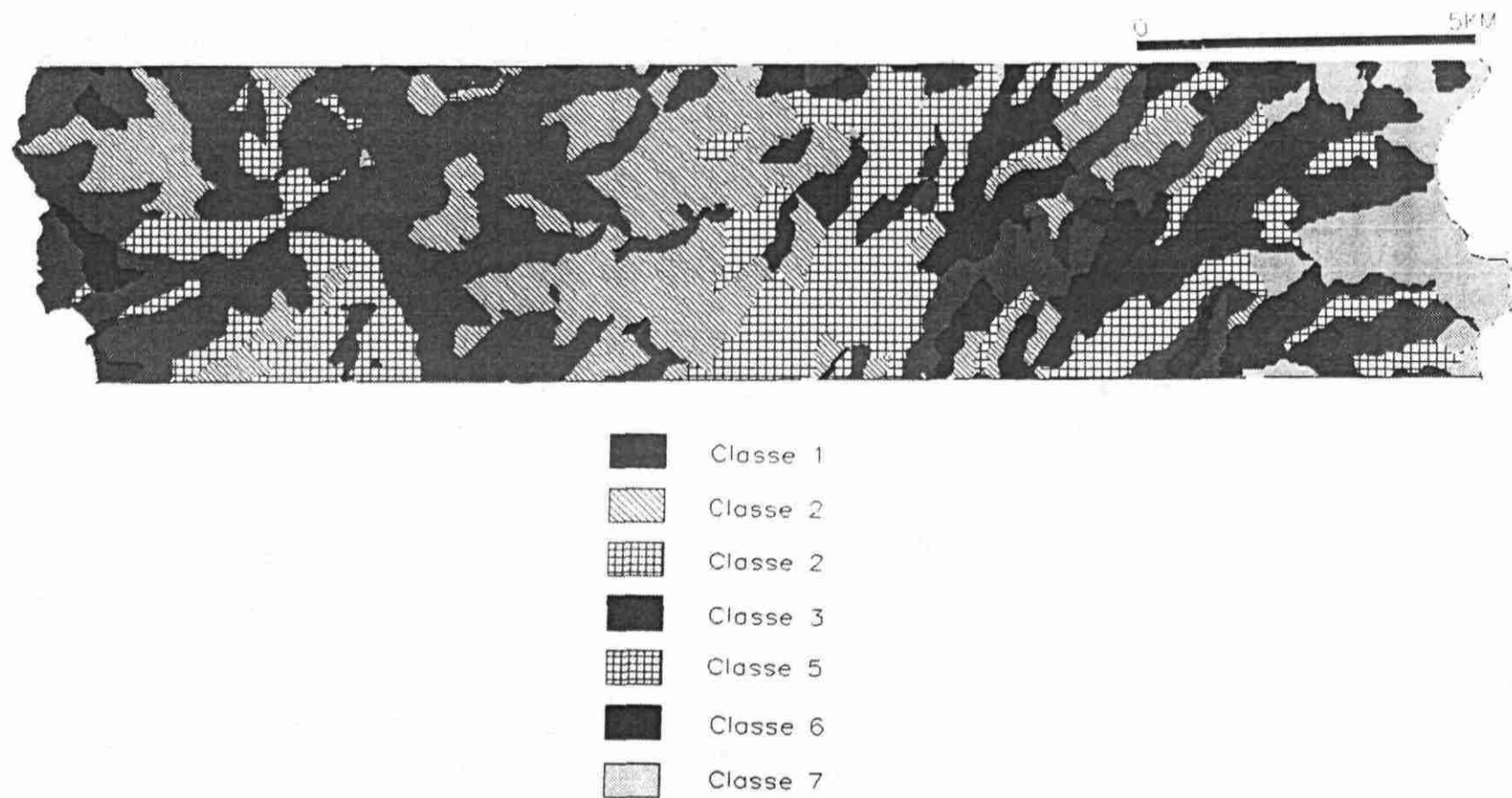


Figure 52 : Résultat cartographique d'une partition en 7 classes de la zone test
(classification de l'ensemble des données morphologiques
associées à la carte des UCPs)

		Classes issues de l'AFC des données morphologiques rapportées aux UCPs						
		1	2	3	4	5	6	7
Classes issues de l'ACP des données morphologiques rapportées aux UCVs	bb1b	0.12	2.24	0.00	59.85	39.55	5.49	2.95
	bb2b	6.66	16.44	0.00	18.54	7.34	0.19	2.13
	bb3b	11.78	7.41	0.00	3.07	15.91	39.01	0.00
	bb4b	1.22	25.08	0.00	0.00	31.73	1.86	0.00
	bb5b	15.40	28.63	0.00	0.00	1.98	0.37	0.49
	bb6b	0.24	0.00	0.00	0.00	3.48	49.91	92.80
	bb7b	10.61	8.64	7.90	0.00	0.00	3.17	1.64
	bb8b	41.93	9.49	29.18	18.54	0.00	0.00	0.00
	bb9b	12.03	2.08	62.92	0.00	0.00	0.00	0.00
Σ colonnes		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Tableau 31: Croisement des classes d'unités morphologiques homogènes
issues de l'AFC des données UCPs et de l'ACP des données UCVs
Fréquences en colonnes

		Classes issues de l'AFC des données thématiques rapportées aux UCPs						
		1	2	3	4	5	6	7
Classes issues de l'ACP des données morphologiques rapportées aux UCVs	bb1b	16.16	9.43	11.47	22.96	2.66	0.00	0.44
	bb2b	16.86	16.95	7.13	6.39	0.00	0.00	0.00
	bb3b	0.78	0.34	14.41	26.71	27.07	0.00	0.00
	bb4b	14.45	8.64	5.87	14.41	5.16	0.00	0.74
	bb5b	21.68	23.68	8.25	0.62	0.47	10.24	11.24
	bb6b	1.48	1.12	7.90	23.27	62.60	2.26	8.73
	bb7b	6.37	7.86	6.92	2.38	1.10	14.89	6.66
	bb8b	5.98	5.50	26.43	1.98	0.94	61.57	70.12
	bb9b	16.24	26.49	11.61	1.28	0.00	11.04	2.07
Σ colonnes		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Tableau 32: Croisement des classes d'unités morphologiques homogènes
issues de l'ACP des données UCVs et de l'AFC des données thématiques
rapportées aux UCPs
Fréquences en colonnes

4.4.3 - AFC et classification des données thématiques seules

Cette analyse concerne toutes les variables associées à la carte des UCPs, excepté les variables morphologiques et d'altitude (tableau 30 - colonne C).

Une partition en 7 classes de la zone test a été réalisée (fig. 53) comme pour l'analyse de l'ensemble des données UCPs (fig. 49).

La comparaison des résultats cartographiques des deux analyses montre que très globalement les ensembles sont équivalents d'une carte à l'autre.

On remarque cependant dans le cas de l'analyse restreinte aux variables thématiques (fig. 53), que certains ensembles au centre et à l'est de la zone d'étude sont spatialement plus hétérogènes.

La figure 54 montre la carte résultant d'une analyse effectuée avec les variables thématiques et la variable "altitude" (tableau 30 - colonne D). Sept ensembles sont également délimités. Les résultats sont dans ce cas beaucoup plus proches de ceux obtenus par analyse de l'ensemble des données UCPs (fig. 49) (tableau 30 - colonne E).

Ce constat souligne l'effet de "lissage" opéré par la variable altitude qui masque les particularités locales mises en évidence avec les variables thématiques, au profit d'une logique de répartition altimétrique.

4.4.4 - Comparaison des classification obtenues par ACP des données morphologiques et AFC des données thématiques

Les cartes comparées ici sont :

- pour la morphologie, la carte issue du traitement par ACP des données rapportées aux UCVs (fig. 37), jugée comme étant la plus fiable (tableau 30 - colonne A) ;
- la carte obtenue après une AFC restreinte aux variables thématiques sans prise en compte de l'altitude (fig. 53) (tableau 30 - colonne C).

La correspondance précise entre ces deux cartes n'est pas évidente à établir visuellement. Nous nous reporterons donc au tableau croisant les résultats des deux classifications (tableau 32). Celui-ci montre que les classes 6 et 7 issues du traitement variables thématiques (zones à sols fersialitiques et à vertisols) correspondent majoritairement à la classe bb8b obtenue à partir des données UCVs.

La correspondance existe également entre les deux classifications pour les zones basses littorales et les zones alluviales. Le tableau 32 montre

également à contrario qu'au sein des autres unités thématiques homogènes, la morphologie est très diversifiée.

On montre ainsi que 4 des 7 unités thématiques mises en évidence ne possèdent pas de "signature morphologique" spécifique. Il est cependant possible de distinguer au sein de ces unités, des sous-ensembles à morphologies particulières.

Deux explications sont possibles pour expliquer les résultats relatifs aux unités à morphologie diversifiée :

- ces unités bien que différentes présentent une même réponse aux processus morphodynamiques ;
- l'information thématique prise en compte est incomplète, ce qui signifie que les variables utilisées pour décrire le milieu sont insuffisantes ou trop peu détaillées.

4.4.5 - Proposition pour une démarche optimale permettant la délimitation d'unités cartographiques homogènes

En fonction des applications, il sera possible de considérer sélectivement les résultats relatifs à la morphologie ou aux variables thématiques seules.

- Dans le premier cas la carte la plus fiable est obtenue par ACP et classification des variables concernant la morphologie et conservées sous forme continue (fig. 52). Cette carte intègre de plus les données altimétriques sans effet de "lissage" de l'information.
- Dans le second cas, la carte d'unités cartographiques homogènes est obtenues par AFC et classification restreinte aux seules variables thématiques sans prise en compte de l'altitude (fig. 53).

Notre propos ici est de présenter une démarche optimale permettant la délimitation d'unités cartographiques homogènes. Une telle démarche doit répondre à plusieurs conditions :

- intégrer l'ensemble des paramètres collectés sur la zone d'étude ;
- intégrer les variables morphologiques avec une perte d'information minimale ;
- éviter l'effet de "lissage" de l'information opéré par la variable altitude sur les variables thématiques ;
- obtenir des unités spatialement les plus homogènes possibles, dont la morphologie puisse être décrite aisément ;

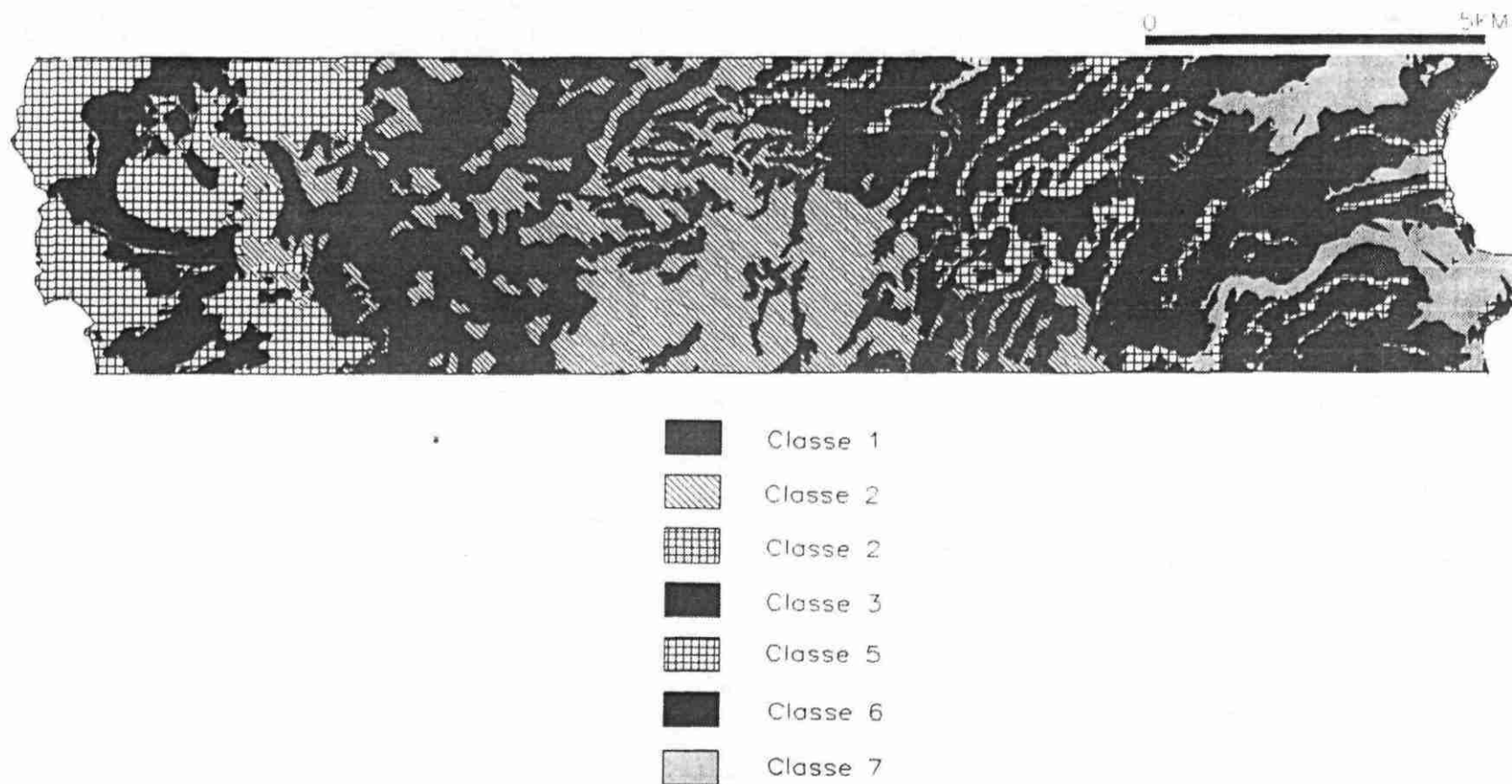


Figure 53 : Résultat cartographique d'une partition en 7 classes de la zone test (classification de l'ensemble des données thématiques associées à la carte des UCPs)

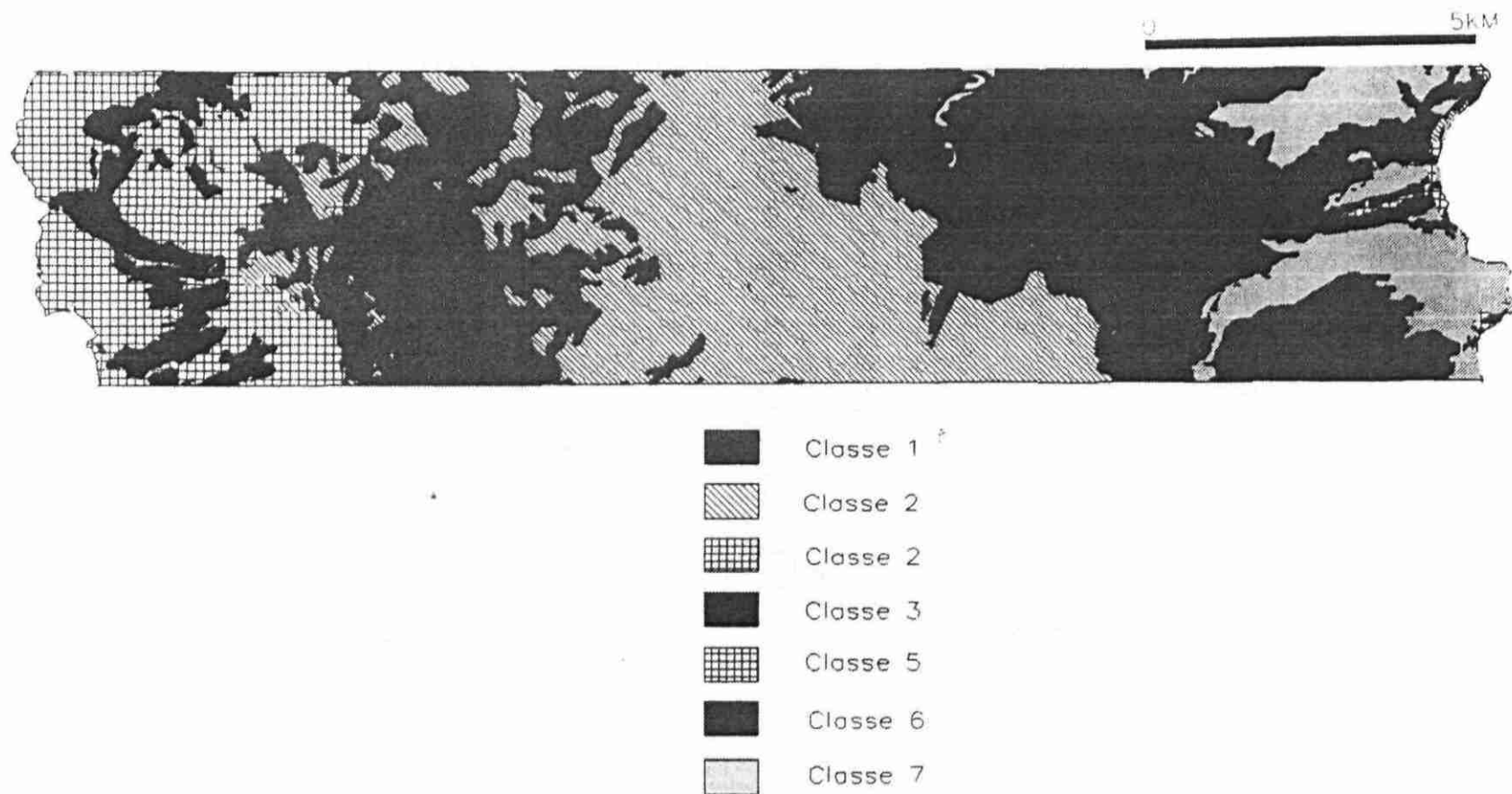


Figure 54 : Résultat cartographique d'une partition en 7 classes de la zone test (classification de l'ensemble des données thématiques et de l'altitude associées à la carte des UCPs)

- simplifier et alléger les traitements informatiques.

De telles conditions sont remplies en considérant la carte des unités cartographiques homogènes obtenu par ACP et classification des données d'altitude et de morphologie rapportée aux UCVs, comme une carte thématique, au même titre que la végétation ou la lithologie par exemple. On crée donc une variable "morphologie" de nature nominale dont les modalités correspondent aux différentes classes déterminées. Cette variable associée aux autres variables thématiques fait ensuite l'objet du AFC et d'une classification (tableau 30 - colonne F).

En procédant ainsi l'ensemble des paramètres de la base de donnée sur la zone test est pris en compte. La morphologie est prise en compte en préservant la richesse des résultats de l'ACP. Le traitement informatique des données est également simplifié. En effet, l'AFC sur l'ensemble des données décrite au chapitre 4.3, est effectuée sur un tableau comprenant 21 variables dont 8 concernent la morphologie et l'altitude.

Cet ensemble de paramètres est remplacé par une variable unique, ce qui diminue de près de moitié la taille du tableau de données et accélère le déroulement des programmes SPAD.N.

Cet aspect est très important si on envisage une extension de l'étude à l'ensemble de l'île de Basse-Terre.

La figure 55 résume les différentes étapes de la démarche adoptée, depuis l'acquisition des données de base jusqu'à l'élaboration de la carte d'unités cartographiques homogènes.

La mise en oeuvre de cette démarche sur la zone d'étude conduit à une partition en 7 classes dont le résultat cartographique est représenté par la figure 56. Cette carte est similaire dans ses grandes lignes à celle obtenue en analysant l'ensemble des variables par AFC (fig. 49). Par rapport aux classes aa1a de cette carte, la classe 1 (fig. 56) présente plus grande extension plus large. Elle couvre non seulement des zones d'altitudes élevées mais également celles d'altitudes moyennes à relief très "marqué". La classe 2 par rapport à la classe bb2b présente en conséquence une extension plus faible.

Les classes situées en côte sous le vent sont peu affectées. La délimitation des zones littorales et alluviales est par contre affinée. Les vallées de la Grande-Rivière à Goyave et celle de la rivière Bras-David qui n'apparaissaient pas à la figure 49 sont clairement mises en évidence à la figure 56.

Il en est de même pour les falaises d'altitudes à fortes pentes du littoral, à l'extrémité est de la zone test.

Les cartes présentées ici résultent d'une partition en 7 classes. Il est toutefois possible de considérer des sous-ensembles au sein des classes représentées à la figure 56, permettant une analyse plus détaillée de la morphologie. Le principe de cette analyse est décrit au chapitre précédent (paragraphe 4.3.5.4.2).

Cette carte intégrant l'ensemble des paramètres décrivant le milieu naturel (morphologiques et thématiques), nous parlerons d'Unités Cartographiques de Paysage (UCPA).

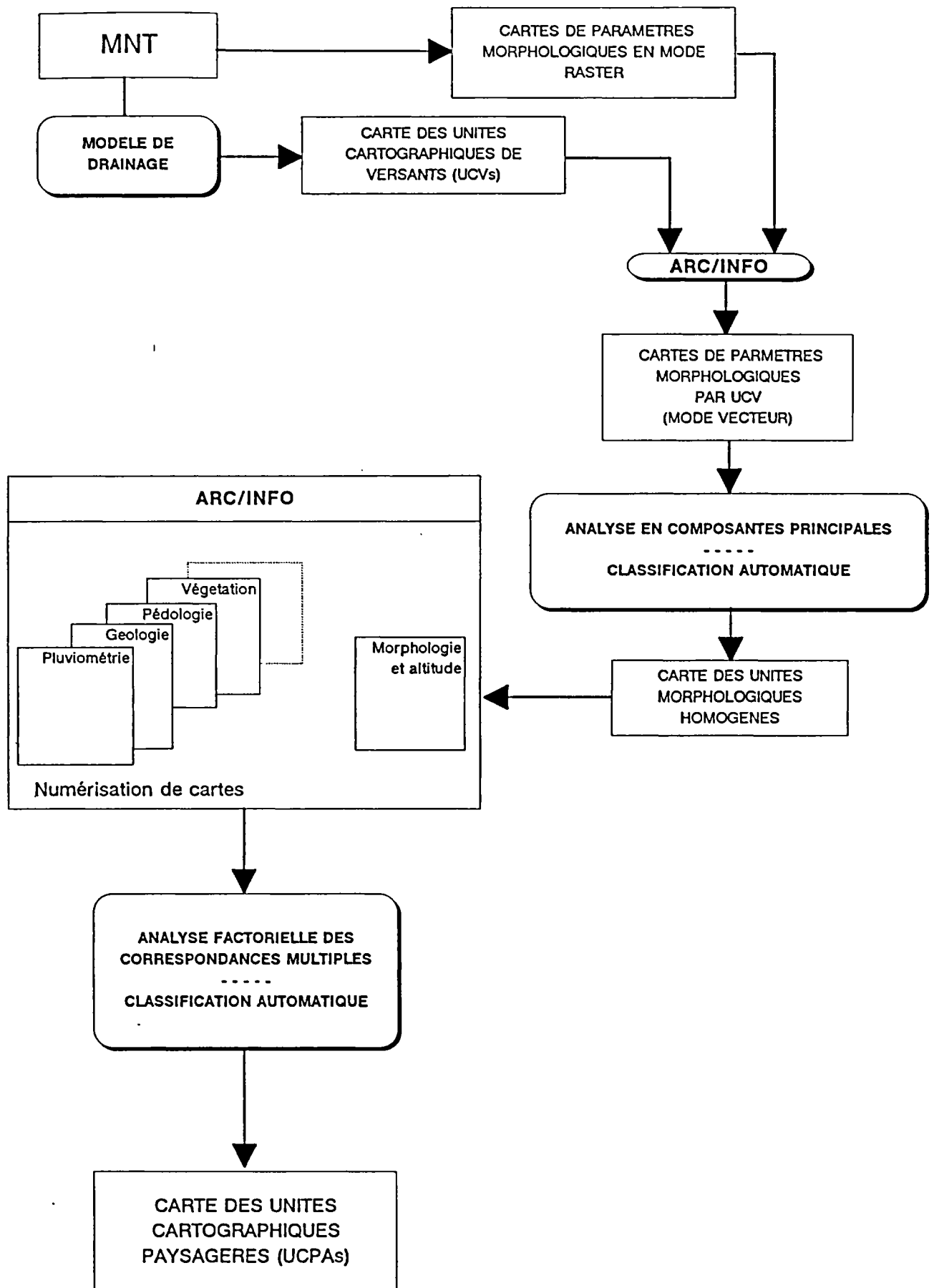


Figure 55: Description de la démarche optimale permettant de délimiter des unités cartographiques pluri-thématiques homogenes

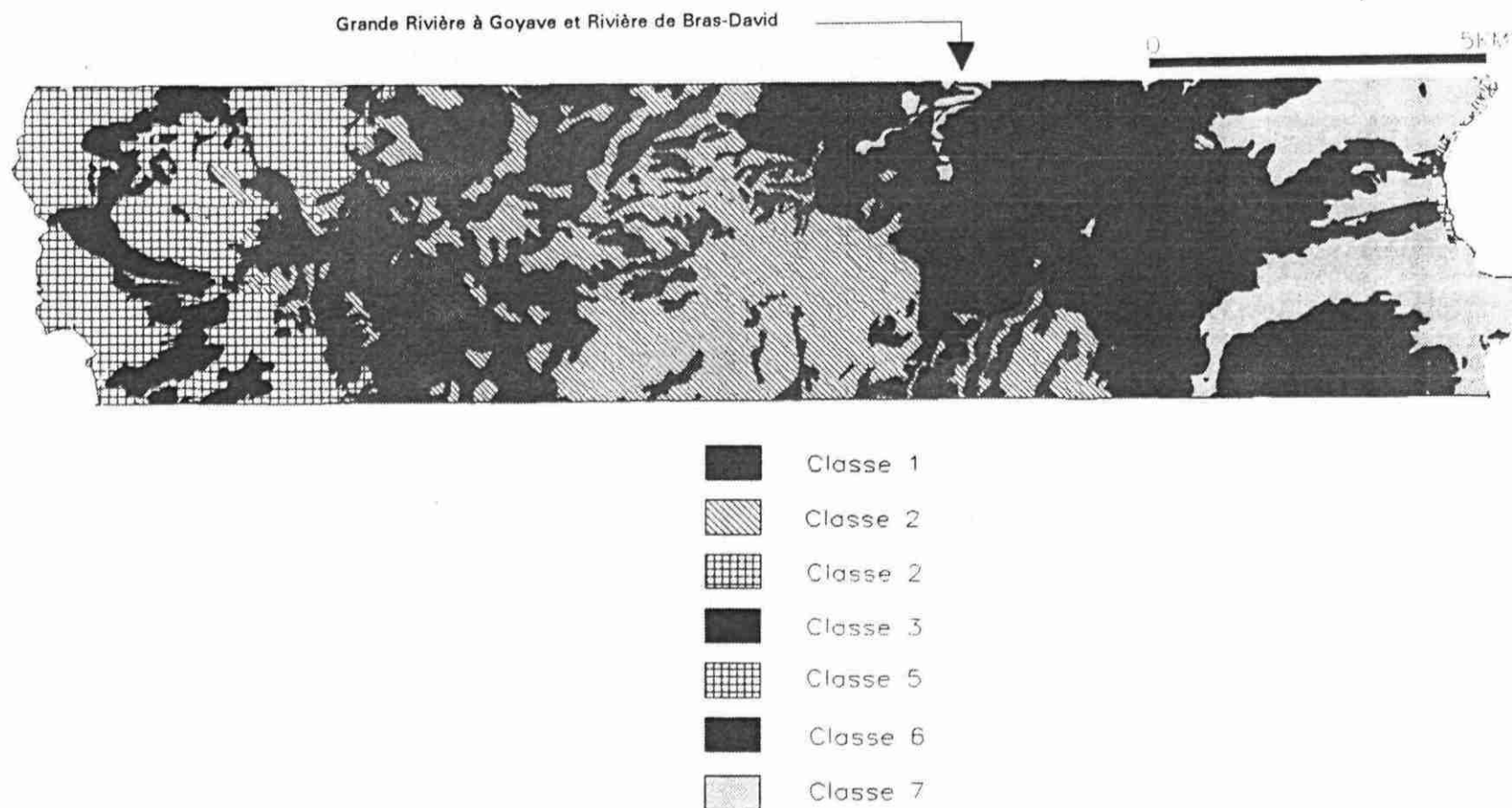


Figure 56 : Résultat cartographique d'une partition en 7 classes de la zone test intégrant les données morphologiques et l'altitude par ACP et les données thématiques par AFC

5 - CONCLUSION

5.1 - Rappel du cadre de l'étude et des principaux objectifs

Dans le cadre de l'étude de la problématique de la cartographie des mouvements de terrain, sur l'île de Basse-Terre, une zone d'extension limitée a été choisie afin de tester différentes méthodes de zonage.

Une base de données la plus exhaustive possible a été constituée sur cette zone test. Elle comprend, en plus de l'altitude, une série de paramètres morphologiques déterminés à partir du Modèle Numérique de Terrain et rapportés à des entités cartographiques, les Unités de versants ou UCVs. Celles-ci sont déterminées automatiquement par analyse du réseau de drainage, lui-même issu du MNT.

Les autres éléments constitutifs de la base de données sont de nature thématique. Ils sont obtenus par numérisation de différentes cartes disponibles en Basse-Terre.

La présente étude vise avant d'appliquer tout méthode de zonage de l'aléa mouvement de terrain, à analyser les relations entre les différents paramètres pris en compte et à mettre en évidence des unités cartographiques homogènes, présentant des associations cohérentes de paramètres et dont les propriétés vis-à-vis des mouvements peuvent être appréciées.

5.2 - Synthèse des résultats

Les traitements effectués ont été réalisés par analyses statistiques simples et multi-dimensionnelles (Analyse en Composantes Principales et Analyse Factorielles des Correspondances Multiples).

En langage statistique les paramètres de la base de données deviennent des variables qui peuvent être de nature continue (données morphologiques) ou nominales (données thématiques). Les dernières se décomposent en modalités.

L'analyse des relations entre variables a d'abord été effectuée en étudiant la répartition d'une variable par rapport à une autre. Ce type d'analyse qui peut être riche en enseignements doit se concevoir cependant comme un outil simple permettant d'étudier ponctuellement et qualitativement les relations entre deux variables.

Les analyses statistiques multi-dimensionnelles offrent une vue plus synthétique des relations entre paramètres.

Le cercle et la matrice des corrélations édités lors de l'ACP permettent d'apprécier globalement comment évoluent les variables morphologiques les unes par rapport aux autres. Ils permettent également d'identifier celles qui sont redondantes.

L'AFC conduit également à une appréciation globale. Celle-ci consiste à analyser la répartition des modalités de variables sur différents plans factoriels et à interpréter les regroupements observés. Les variables redondantes sont également identifiées. Il faut cependant noter que les résultats les plus fiables par AFC sont obtenus avec les variables thématiques seules.

L'identification des variables redondantes constitue un résultat important. En effet lors de l'extension de la base de données à l'ensemble de la Basse-Terre, elles ne seront pas prises en compte.

L'ACP, suivie d'une classification automatique des données morphologiques conduit à délimiter sur la zone test 9 unités cartographiques homogènes, chacune d'elle correspondant à une association particulière de paramètres morphologiques. Ces unités présentent une logique de répartition géographique soulignant notamment une opposition entre côte au vent et côte sous le vent.

L'AFC est effectuée sur les variables nominales (celles-ci pouvant être continues à l'origine).

Elle peut être restreinte aux seules variables thématiques. On obtient dans ce cas une carte présentant des ensembles thématiques homogènes indiquant également une logique de répartition géographique. Il n'y a cependant pas de correspondance évidente avec les unités morphologiques issues de l'ACP. Chaque ensemble thématique peut être en fait partitionné en sous-zones à morphologies particulières.

L'AFC effectuée sur l'ensemble des variables conduit à une mauvaise prise en compte de paramètres morphologiques. Nous avons donc développé une démarche permettant d'intégrer au mieux l'ensemble des variables. Elle consiste à considérer la carte des unités morphologiques homogènes (ACP) comme une carte thématique à part entière, au même titre que la végétation par exemple.

Les résultats de l'analyse complète sont jugés très satisfaisants, notamment en côte au vent où des détails très particuliers sont mis en évidence.

Les ensembles cartographiques homogènes délimités, peuvent être considérés comme des unités paysagères décrivant le milieu naturel.

5.3 - Perspectives pour l'étude de l'aléa mouvements de terrain

La recherche d'unités homogènes afin de décrire le milieu physique est largement utilisée en cartographie thématique et notamment pour l'étude de l'aléa mouvements de terrain.

Leur délimitation dans la plupart des cas est limitée à la photo-interprétation, ce qui implique une part de subjectivité liée à l'opérateur et une application à des territoires d'extension limitée.

Ce constat souligne l'intérêt méthodologique des démarches mises en oeuvre pour la délimitation automatique et objective d'unités cartographiques (morphologiques ou paysagères) homogènes par statistiques multi-dimensionnelles.

Plusieurs applications de nos résultats sont possibles dans le cadre de la cartographie des mouvements de terrain :

- une meilleure application des méthodes de zonage par analogie. Si on démontre qu'à une unité donnée est plus particulièrement affectée un type de mouvement de terrain, on pourra en conclure en première approche qu'elle présente un niveau d'aléa élevé pour ce type d'instabilité ;

On peut cependant affiner la cartographie de l'aléa, en recherchant précisément au sein de cette unité, une combinaison donnée de paramètres correspondant à une instabilité connue.

- les unités cartographiques paysagères peuvent servir de base à l'élaboration d'une méthode de zonage de type empirique. On peut en effet envisager de déduire le niveau d'aléa d'unité donnée en analysant l'association de paramètres caractérisant l'unité ;

- les unités paysagères peuvent constituer une aide précieuse à l'application des méthodes de zonage de type déterministes. Ces méthodes nécessitent en effet de connaître certains paramètres mécaniques (cohésion, angle de frottement interne...) et géométriques caractérisant le milieu. On pourra donc chercher à caractériser sélectivement la valeur de ces paramètres au sein de chaque unité homogène délimitée, par un nombre limité de mesures et de contrôles de terrain. De même, ces méthodes dont la mise en oeuvre est souvent gourmande en temps de calcul, pourront n'être appliquées qu'aux unités jugées les plus "sensibles" pour le type d'instabilité étudié ;

- la carte d'unités cartographiques homogènes enfin, peut servir de guide lors de l'élaboration des cartes d'inventaire de mouvements de terrain.

Toutes ces possibles applications seront étudiées plus en détail, lors de l'étude comparative sur la zone test (au cours d'une phase ultérieure des travaux) de différentes méthodes de cartographie de l'aléa mouvements de terrain.

D'autres applications procédant de la même démarche méthodologique, combinant le MNT, ses produits dérivés, le SIG et des analyses statistiques multi-variées, peuvent être également envisagées - Citons par exemple :

- l'établissement de cartes d'état d'altération des formations géologiques, à partir de l'altitude, de la pente, de la carte lithologique, de l'âge des formations et de la proximité des failles ;

- la typologie des mouvements de terrain, dont les contours sur carte ont été numérisés. Ce travail est envisagé en Martinique, à partir de contours de mouvements de terrain repérés sur photographies aériennes. Chaque aire correspondant à un désordre peut être caractérisée par quelques paramètres caractérisant sa forme (longueur, largeur, surface...) et sa morphologie, ces paramètres étant accessibles à partir du MNT ;

- la reconnaissance automatique de formes à partir du MNT.

BIBLIOGRAPHIE

AMIET Y. et TREVISIOL Y., Proposition d'une méthodologie de définition d'unités homogènes : Application au bassin versant de la Petite - Fecht (Vosges), Rap. Lab. hydr. math., Univ. Sc. et Tech. du Languedoc, 1979.

ATLAN Y. et DAGAIN J., Evaluation des risques liés aux mouvements du sol dans la commune de Petit-Bourg, R. BRGM 85 ANT 05, 1985.

BENZECRI J.-P., L'analyse des données, t.II : L'analyse des correspondances, Dunod 3e éd., 1979.

BEVEN K. and KIRKBY M.J., A physical based, variable contributing area model of bassin hydrology, Hydrological Sciences Bull., 24 (1 - 3), 43 - 69, 1979.

BOCCO G., PALACIO J. and VALENZUELA C.R., Gully erosion modelling using GIS and geomorphologic knowledge, ITC journal, 1990-3, 253 - 261, 1990.

BOUROCHE J.-M. et BERTIER P., Analyse de données multidimensionnelles, PUF, 1975

BOUROCHE J.-M. et SAPORTA G., L'analyse des données, PUF, 1987.

CARRARA A., Drainage and divide networks derived from high - fidelity digital terrain models, In : Chung C.F. et al. (eds.), Quantitative analysis of mineral and energy ressources, 581 - 597, 1988.

CARRARA A., Landslide hazard assesement, Primer simposio internacional sobre sensores remotos y Sistemas de Information Géografica (GIS) para el estudio de riesgos naturales, 329 - 355, 1992.

COLMET-DAAGE F., Planche 10 - Pédologie, Atlas des DOM - la Guadeloupe, CEGET-IGN, 1982.

COLMET-DAAGE F., Carte des sols à 1/20.000 de la Guadeloupe, ORSTOM, feuilles 32 et 33, 1970.

DEPRAETERE C., DEMIURGE 2.0 - Chaîne de traitement de Modèles Numériques de Terrain, Eds ORSTOM, 1991.

DE REYNAL DE SAINT-MICHEL A., Carte géologique détaillée de la France, département de la Guadeloupe, 1/50.000, Basse-Terre, 1966.

DEROIN J.-P., CHOROWICZ J., DEROIN T., DUTARTRE P., SCANVIC J.-Y. and SIMONIN A., The landscape unit approach applied to geology on SPOT images, in temperate climate zones using a test-area in the Cevennes (Massif Central, France), J. Photogramm. Remote Sens., 45, 382 - 403, 1990.

DEWOLF Y., Interprétation et perceptions de la morphologie du Bassin Parisien, Bull. Inf. Geol. Bassin Paris, Mem. Hors. Sér., 19 - 38, 1987.

LEBART L., MORINEAU A., LAMBERT T. et PLEUVRET P., SPAD.N V.2.0 - Système portable pour l'Analyse des Données, CISIA, 1991.

MEIJERINK A.M.J, Data acquisition an data capture through mapping units, ITC journal, 1988-1, 23 - 44, 1988.

MOMPELAT J.-M. et SEDAN O., Etude de zonage des aléas naturels sur le secteur d'Arnouville et sur le bassin versant de la ravine des Onze Heures - Petit-Bourg, R. BRGM R 33551 ANT 4S 91, 1991.

MOMPELAT J.-M. et SEDAN O. Constitution d'une base de donnée en Guadeloupe, dans le cadre de l'étude de l'aléa mouvements de terrain, R. BRGM, sous presse, 1993.

MORELL M., Ouragan, crues et inondations en Guadeloupe, coll. int. sur les risques naturels et technologiques dans le bassin caraïbéen, 1990.

TERRIER M., Reconnaissance structurale de la tranchée de la déviation de Petit-Bourg (Guadeloupe, Antilles), R. BRGM R 35893 GEO-SGN-92, 1992.

SPEIGHT J.-G., Landform pattern description from aerial photographs, Photogram., V.32, 161-182, 1977.

RENGERS N. and SOETERS R., Applicability of remote sensing in GIS for SLOPE instability hazard zonation : A review with emphasis on the aspects of scale and résolution, Primer simposio internacional sobre sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (GIS) para el estudio de riegos naturales, 18 - 34, 1992.

PORTECOP J., Planche 9 - Végétation, Atlas des DOM - La Guadeloupe, CEGET, IGN, 1982.

VAN WESTEN C.J., Scale related GIS techniques in the analysis of landslide hazard, Primer simposio internacional sobre sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (GIS) para el estudio de riegos naturales, 466 - 484, 1992.

VERSTAPPEN H.T., Applied geomorphology : geomorphological survey for environmental developpement, Elsevier, Amsterdam, 1983.

ANNEXES

ANNEXE 1

Principes de calcul des paramètres morphologiques à partir du Module Numérique de Terrain

CONVEXITES VERTICALES

La convexité verticale ne peut être calculée qu'en mode maillé.

Les convexités verticales représentent une mesure de la courbure de la ligne de plus grande pente. Elles sont calculées en fonction de la pente de la droite de régression des pentes (fichier PEN) en fonction des altitudes (fichier ALT) sur une fenêtre de 3 x 3 mailles (Figure 3):

Soient:

VarZ : variance des altitudes sur la fenêtre 3 x 3.

VarP : variance des pentes sur la fenêtre 3 x 3.

CoVarZP : covariance des altitudes et des pentes.

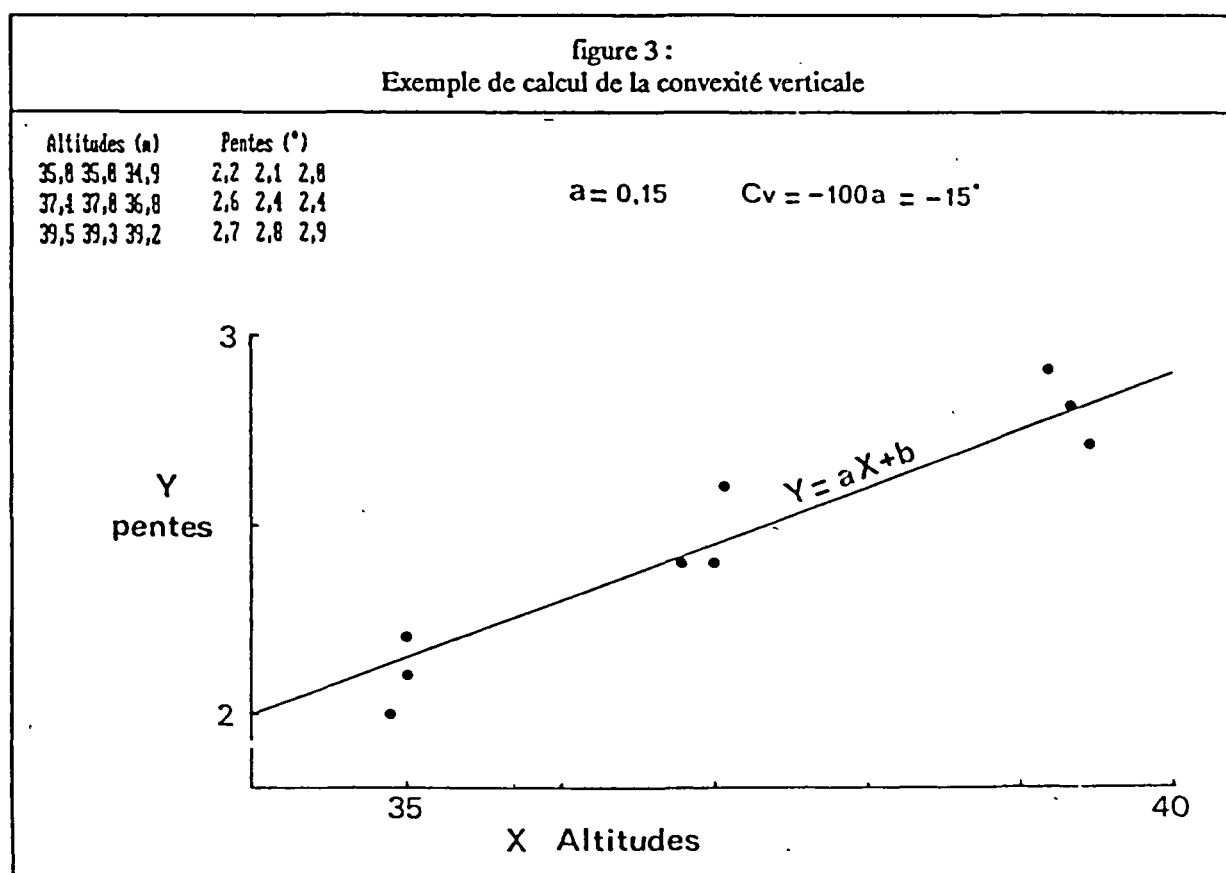
La pente α de la droite de régression $Y = AX + B$ des pentes (en Y) en fonction des altitudes (en X) sera:

si $\text{VarZ} > 0$ alors $\alpha = \text{CoVarZP} / \text{VarZ}$ sinon $\alpha = 0$.

La valeur de la convexité verticale exprimée en degrés pour 100 mètres vers l'aval sera :

$$\text{CV} = -100 \times \alpha.$$

Par exemple, une valeur de $-10^\circ/100\text{m}$ indique que la pente décroît de 10° lorsque l'on descend de 100 mètres le long de la ligne de plus grande pente.



(D'après Depractere, 1991)

CONVEXITES HORIZONTALES

Une méthode géométrique est également proposée en mode maillé. Les convexités horizontales représentent une mesure de la courbure des courbes de niveau. Elles sont calculées en fonction de l'angle α formé par la courbe de niveau (en fait deux segments de droite CD et CG, figure 4) passant par la maille centrale sur une fenêtre de 3 x 3 mailles.

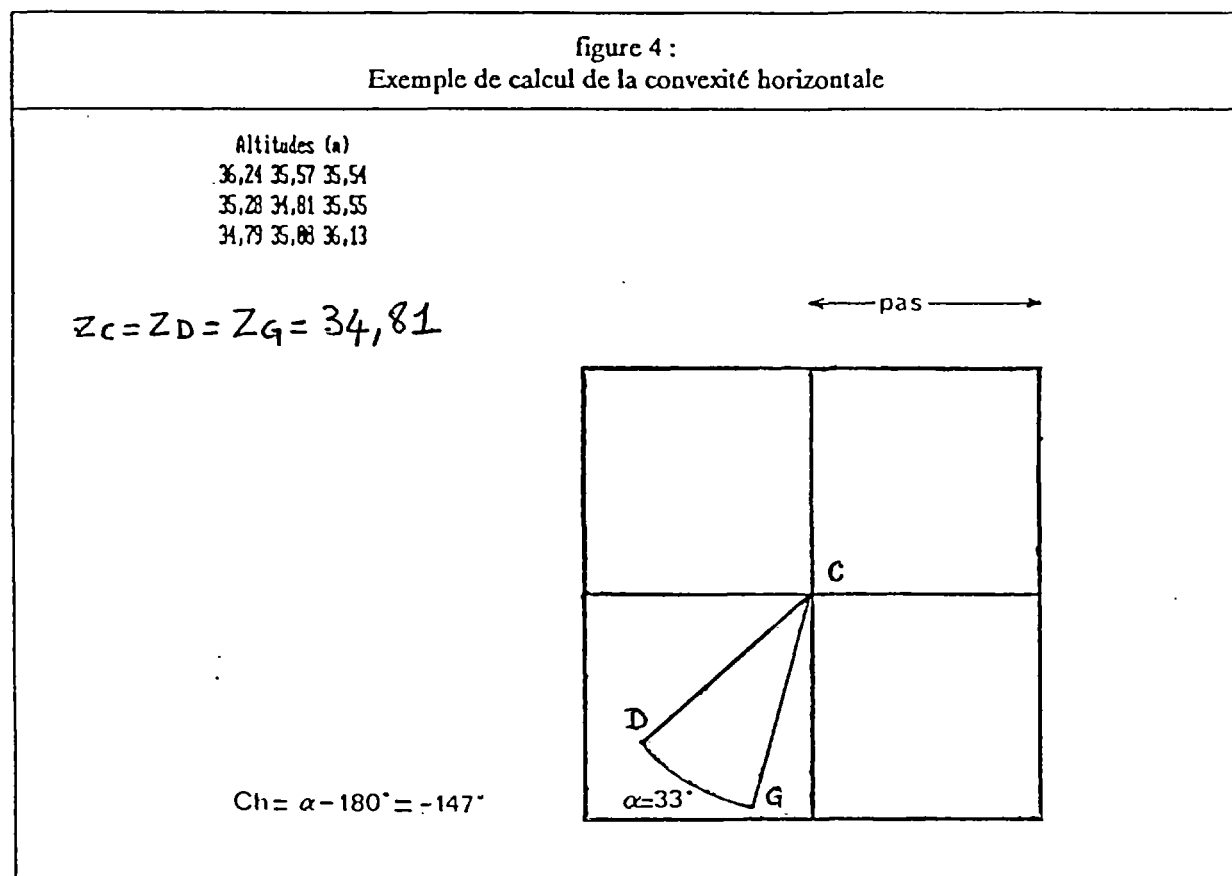
$$\alpha = \text{angle (CD,CG)}, \alpha \in]0, \dots, 360[$$

Cet angle ne peut être calculé sur les extrema locaux (dépressions ou sommets). Par convention, α sera égal à 0° dans le cas des dépressions et 360° sur les sommets. Par commodité, on retranche 180° à cet angle pour obtenir la convexité horizontale:

$$CH = \alpha - 180$$

Les valeurs seront donc comprises entre -180 (dépressions) et 180 (sommets). Une valeur négative sera relative à un site concave au sens de la ligne des courbes de niveau (sites encaissés tels que les fonds de vallée). Inversement, une valeur positive signale un site convexe marqué par une divergence des lignes de pente (sites dégagés tels que les crêtes ou les sommets). Ces valeurs représentent une estimation de la courbure sur une longueur en mètres égale à somme des deux segments CD et CG (soit 2 fois le Pas du MNT).

figure 4 :
Exemple de calcul de la convexité horizontale



(D'après Depraetere, 1991)

INDICE DE BEVEN

L'indice de Beven I_b est un indice de saturation potentielle en eau des sols (Beven et al., 1979). *Mutatis mutandis*, on admet que cette saturation est proportionnelle à la surface drainée α et inversement proportionnelle à la pente locale $\tan(\beta)$:

$$I_b = \text{Log}(\alpha / \tan(\beta))$$

La surface drainée est estimée en fonction d'un drainage vers l'aval multidirectionnel alors qu'il est monodirectionnel dans la descente maximale. Le ratio de transfert vers les mailles voisines d'altitudes inférieures se fait proportionnellement à la pente.

CONVEXITES VERTICALES GLOBALES

Ce paramètre s'inspire de la convexité verticale calculée en chaque pixel sur un fenêtrage de 3 x 3 mailles. Les convexités verticales globales sont calculées en fonction de la pente de la droite de régression des pentes en fonction des altitudes sur des fenêtrages correspondant aux UCVs

(D'après Depractere, 1991)

ANNEXE 2

Programme SPAD.N réalisant l'Analyse en Composantes Principales et la Classification des données issues de la carte des UCVs

```

:-----PROCEDURE REALISANT L'ANALYSE DES DONNEES SUR LES UCV-----
:-----DE LA ZONE TEST EN BASSE-TERRE-----
:-----ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES-----
:-----FICHIER ACPZTUCV.SPD-----
:-----Données morphologiques, UCVs zone test-----

:-----FICHIERS EN ENTREE/SORTIE

NDICZ = 'ZTUCV.DIC', NDONZ = 'ZTUCV.DON'
:-----

PROC ARDIC
====Archivage du dictionnaire====
NQEXA = 10, NXMOD = 1, LEDIT = 0

:-----

PROC ARDON
====Archivage des données====
LDONZ = 1, NIDI = 1, NQEXA = 10, NIEXA = 436, NLFOR = -1, NCOLZ = 60 >
NEDIT = 0, LEXTR = 0

:-----

PROC SELEC
====Sélection des variables et individus====
LSELI = 1, IMASS = 1, LEDIT = 0

:----Variables retenues
CONT ACT 1 -- 10
FIN
:----Individus retenus
ACT 1 -- 436
FIN

:-----

PROC STATS
====Statistiques sur les variables continues====
LCONT = 1, LHIST = 1, UNIT = LIBRE, NCLAS = 6

:-----

PROC COPRI
====Analyse en Composantes Principales====
LCORR = 1, NAXE = 7, NVEDI = 20, LPERM = 1, LEDIN = 1, NAXED = 3, NAVIR = 2

:-----

PROC DEFAC
====Description des axes factoriels====
SEUIL = 80.0, LCRIM = 2
VEC 1--5 / CONT
FIN

:-----

PROC GRAPH
====Représentation graphique du plan factoriel principal====
NOPAR

:----Commandes
:-----Représentation des variables
POINTS = CON / X = VEC 1 / Y = VEC 2 / IDENT = 1A4 >
DOUBLE = NO / ZOOM = 0.0 / ZERO = IN / XTITLE = 'ZTCP1(CONT)' >
YTITLE = 'ZTCP2(CONT)'

```

```
:-----Representation des individus
POINTS = IND / X = VEC 1 / Y = VEC 2 / IDENT = '*' >
SELECT = INER = 0 / DOUBLE = NO / ZOOM = 0.0 / ZERO = IN >
XTITLE = 'CP1' / YTITLE = 'CP2'
```

FIN

```
:-----
PROC SEMIS
====Classification par nuées dynamiques et agrégation hiérarchique====
NAXU = 7, NITER = 15, LMETH = 2, SEUIL = 11, LRESI = 1 >
NAXED = 5, LDESC = 1, LDEND = 2
10
```

```
:-----
PROC PARTI
====Partitions par coupure de l'arbre d'agrégation====
NXPAR = 2, NITER = 1, LEDIN = 0, NAXED = 5
9 4: Nombre de classes dans chaque partition
```

```
:-----
PROC DECLA
====Description des partitions effectuées====
LPNOM = 0, EDNOM = 0, CNOMI = 0 >
LPCON = 0, EDCON = TRI >
CCONT = 5, PAXE = 0, CAXE = 0, LEDIN = 0
9 4: Nombre de classes à décrire dans chaque partition
```

```
:-----
PROC GRAPH
====Représentation des classes dans le plan factoriel principal====
LVEC = 1, LCLAS = 1
```

```
:-----Commandes
:-----Partition en 9 classes
POINTS = CLA 9 / X = VEC 1 / Y = VEC 2 / IDENT = 1A4 >
SELECT = INER = 0 / DOUBLE = NO >
ZOOM = 0.0 / ZERO = IN / XTITLE = 'CP1' / YTITLE = 'CP2'

:-----Partition en 4 classes
POINTS = CLA 4 / X = VEC 1 / Y = VEC 2 / IDENT = 1A4 >
SELECT = INER = 0 / DOUBLE = NO >
ZOOM = 0.0 / ZERO = IN / XTITLE = 'CP1' / YTITLE = 'CP2'
```

FIN

```
:-----
```

STOP

ANNEXE 3

Description des classes issues de l'ACP

ANNEXE 3a

Statistiques par classes pour les 5 variables les plus caractéristiques

NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN	MOYENNES		ECARTS TYPES		V.TEST	PROBA
			CLASSE	GENERALE	CLASSE	GENERAL		
CLASSE 1 / 9			bb1b		(POIDS = 5319.00		EFFECTIF = 49)	
6.Scoh-Ec.type Coh	--> ecart-type des convexites horizo	Scoh	70.201	62.941	9.361	14.052	40.56	.000
8.Scov-Ec.type Cov	--> ecart-type des convexites vertic	Scov	40.553	37.850	5.278	12.967	16.37	.000
2.Moyz-Altitude moy.	--> altitude moyenne (m)	Moyz	156.234	227.872	64.544	155.104	-36.26	.000
4.Spen-Ec.type pente	--> ecart-type des pentes par UCV	Spen	3.666	5.265	1.104	2.113	-59.43	.000
3.Moyp-Pente moy.	--> pente moyenne (degres)	Moyp	7.033	11.801	1.725	5.831	-64.20	.000
CLASSE 2 / 9			bb2b		(POIDS = 2525.00		EFFECTIF = 33)	
6.Scoh-Ec.type Coh	--> ecart-type des convexites horizo	Scoh	83.900	62.941	6.833	14.052	77.51	.000
8.Scov-Ec.type Cov	--> ecart-type des convexites vertic	Scov	44.701	37.850	8.357	12.967	27.46	.000
7.Mcov-Conv.vert.moy.	--> convexite verticale moyenne (deg	Mcov	2.585	-.861	5.353	10.580	16.93	.000
9.Cvg -Conv.vert.glob.	--> convexite verticale globale (deg	Cvg	.562	-1.670	3.513	7.777	14.92	.000
2.Moyz-Altitude moy.	--> altitude moyenne (m)	Moyz	205.777	227.872	61.008	155.104	-7.40	.000
CLASSE 3 / 9			bb3b		(POIDS = 3558.00		EFFECTIF = 16)	
10.Moyb-Ind.Beveen moy.	--> indice de Beveen moyen	Moyb	2.174	1.813	.310	.643	35.06	.000
6.Scoh-Ec.type Coh	--> ecart-type des convexites horizo	Scoh	68.821	62.941	6.107	14.052	26.19	.000
5.Mcoh-Conv.hor.moy.	--> convexite horizontale moyenne (d	Mcoh	9.598	6.028	6.134	14.280	15.65	.000
3.Moyp-Pente moy.	--> pente moyenne (degres)	Moyp	8.357	11.801	2.304	5.831	-36.97	.000
2.Moyz-Altitude moy.	--> altitude moyenne (m)	Moyz	78.791	227.872	38.162	155.104	-60.16	.000
CLASSE 4 / 9			bb4b		(POIDS = 12627.00		EFFECTIF = 180)	
5.Mcoh-Conv.hor.moy.	--> convexite horizontale moyenne (d	Mcoh	8.280	6.028	21.279	14.280	21.57	.000
2.Moyz-Altitude moy.	--> altitude moyenne (m)	Moyz	198.480	227.872	147.068	155.104	-25.92	.000
9.Cvg -Conv.vert.glob.	--> convexite verticale globale (deg	Cvg	-3.272	-1.670	8.253	7.777	-28.17	.000
3.Moyp-Pente moy.	--> pente moyenne (degres)	Moyp	9.960	11.801	4.464	5.831	-43.20	.000
4.Spen-Ec.type pente	--> ecart-type des pentes par UCV	Spen	4.546	5.265	1.787	2.113	-46.58	.000
CLASSE 5 / 9			bb5b		(POIDS = 3934.00		EFFECTIF = 47)	
2.Moyz-Altitude moy.	--> altitude moyenne (m)	Moyz	380.010	227.872	88.478	155.104	64.90	.000
6.Scoh-Ec.type Coh	--> ecart-type des convexites horizo	Scoh	58.374	62.941	7.095	14.052	-21.50	.000
10.Moyb-Ind.Beveen moy.	--> indice de Beveen moyen	Moyb	1.568	1.813	.146	.643	-25.27	.000
4.Spen-Ec.type pente	--> ecart-type des pentes par UCV	Spen	4.388	5.265	.620	2.113	-27.46	.000
5.Mcoh-Conv.hor.moy.	--> convexite horizontale moyenne (d	Mcoh	-.159	6.028	5.683	14.280	-28.67	.000

NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		V.TEST	PROBA
CLASSE 6 / 9			bb6b		(POIDS = 1717.00 EFFECTIF = 18)			
5.Mcoh-Conv.hor.moy.	--> convexite horizontale moyenne (d Mcoh		16.600	6.028	18.419	14.280	31.38	.000
6.Scoh-Ec.type Coh	--> ecart-type des convexites horizo Scoh		54.501	62.941	8.607	14.052	-25.46	.000
4.Spen-Ec.type pente	--> ecart-type des pentes par UCV Spen		3.561	5.265	.798	2.113	-34.19	.000
2.Moyz-Altitude moy.	--> altitude moyenne (m) Moyz		44.594	227.872	44.841	155.104	-50.08	.000
3.Moyp-Pente moy.	--> pente moyenne (degres) Moyp		4.742	11.801	1.438	5.831	-51.31	.000
CLASSE 7 / 9			bb7b		(POIDS = 1562.00 EFFECTIF = 22)			
4.Spen-Ec.type pente	--> ecart-type des pentes par UCV Spen		7.461	5.265	.859	2.113	41.93	.000
3.Moyp-Pente moy.	--> pente moyenne (degres) Moyp		17.253	11.801	2.820	5.831	37.72	.000
6.Scoh-Ec.type Coh	--> ecart-type des convexites horizo Scoh		73.063	62.941	8.191	14.052	29.06	.000
9.Cvg -Conv.vert.glob.	--> convexite verticale globale (deg Cvg		-5.586	-1.670	3.884	7.777	-20.31	.000
5.Mcoh-Conv.hor.moy.	--> convexite horizontale moyenne (d Mcoh		-1.544	6.028	7.504	14.280	-21.39	.000
CLASSE 8 / 9			bb8b		(POIDS = 3836.00 EFFECTIF = 36)			
3.Moyp-Pente moy.	--> pente moyenne (degres) Moyp		18.820	11.801	2.661	5.831	78.54	.000
4.Spen-Ec.type pente	--> ecart-type des pentes par UCV Spen		6.946	5.265	1.249	2.113	51.92	.000
9.Cvg -Conv.vert.glob.	--> convexite verticale globale (deg Cvg		1.813	-1.670	3.359	7.777	29.23	.000
8.Scov-Ec.type Cov	--> ecart-type des convexites vertic Scov		28.738	37.850	6.590	12.967	-45.85	.000
6.Scoh-Ec.type Coh	--> ecart-type des convexites horizo Scoh		51.251	62.941	9.285	14.052	-54.27	.000
CLASSE 9 / 9			bb9b		(POIDS = 3732.00 EFFECTIF = 35)			
3.Moyp-Pente moy.	--> pente moyenne (degres) Moyp		21.842	11.801	3.814	5.831	110.66	.000
4.Spen-Ec.type pente	--> ecart-type des pentes par UCV Spen		8.859	5.265	1.479	2.113	109.29	.000
2.Moyz-Altitude moy.	--> altitude moyenne (m) Moyz		462.783	227.872	102.872	155.104	97.32	.000
5.Mcoh-Conv.hor.moy.	--> convexite horizontale moyenne (d Mcoh		1.273	6.028	3.671	14.280	-21.39	.000
6.Scoh-Ec.type Coh	--> ecart-type des convexites horizo Scoh		52.902	62.941	10.241	14.052	-45.90	.000

ANNEXE 3b

**Edition par variable, des statistiques
pour chacune des classes**

3 . Moyp - Moyp-Pente moy.

--> pente moyenne (degres)

CLASSES	EFFECTIF	POIDS	MOYENNE	ECART TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
bb1b - CLASSE 1 / 9	63	5842.00	6.897	1.782	.000	11.000
bb2b - CLASSE 2 / 9	45	3421.00	11.123	2.380	4.000	17.000
bb3b - CLASSE 3 / 9	20	4044.00	8.354	2.296	6.000	15.000
bb4b - CLASSE 4 / 9	36	3544.00	9.000	2.028	5.000	13.000
bb5b - CLASSE 5 / 9	95	6239.00	12.633	1.996	1.000	17.000
bb6b - CLASSE 6 / 9	45	4291.00	4.602	2.622	.000	16.000
bb7b - CLASSE 7 / 9	38	2091.00	16.480	3.173	8.000	24.000
bb8b - CLASSE 8 / 9	57	5503.00	18.043	3.558	12.000	29.000
bb9b - CLASSE 9 / 9	37	3835.00	21.293	3.620	15.000	35.000
ENSEMBLE	436	38810.00	11.801	5.831	.000	35.000

10 . Moyb - Moyb-Ind.Beveen moy.

--> indice de Beveen moyen

CLASSES	EFFECTIF	POIDS	MOYENNE	ECART TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
bb1b - CLASSE 1 / 9	63	5842.00	2.315	.307	1.750	4.230
bb2b - CLASSE 2 / 9	45	3421.00	1.754	.244	1.330	2.620
bb3b - CLASSE 3 / 9	20	4044.00	2.177	.299	1.460	2.550
bb4b - CLASSE 4 / 9	36	3544.00	1.934	.255	1.480	2.470
bb5b - CLASSE 5 / 9	95	6239.00	1.546	.189	.000	2.380
bb6b - CLASSE 6 / 9	45	4291.00	2.879	.578	1.180	4.610
bb7b - CLASSE 7 / 9	38	2091.00	1.258	.256	.510	1.830
bb8b - CLASSE 8 / 9	57	5503.00	1.205	.234	.570	2.040
bb9b - CLASSE 9 / 9	37	3835.00	1.025	.208	.330	1.460
ENSEMBLE	436	38810.00	1.813	.643	.000	4.610

2 . Moyz - Moyz-Altitude moy. --> altitude moyenne (m)

CLASSES	EFFECTIF	POIDS	MOYENNE	ECART TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
bb1b - CLASSE 1 / 9	63	5842.00	160.645	68.254	5.000	533.000
bb2b - CLASSE 2 / 9	45	3421.00	200.944	61.047	94.000	434.000
bb3b - CLASSE 3 / 9	20	4044.00	78.331	37.395	25.000	222.000
bb4b - CLASSE 4 / 9	36	3544.00	183.827	81.041	28.000	317.000
bb5b - CLASSE 5 / 9	95	6239.00	395.017	93.247	1.000	563.000
bb6b - CLASSE 6 / 9	45	4291.00	34.770	36.190	3.000	338.000
bb7b - CLASSE 7 / 9	38	2091.00	258.158	120.806	56.000	481.000
bb8b - CLASSE 8 / 9	57	5503.00	237.773	105.236	55.000	437.000
bb9b - CLASSE 9 / 9	37	3835.00	466.117	92.494	212.000	591.000
ENSEMBLE	436	38810.00	227.872	155.104	1.000	591.000

4 . Spen - Spen-Ec.type pente --> ecart-type des pentes par UCV

CLASSES	EFFECTIF	POIDS	MOYENNE	ECART TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
bb1b - CLASSE 1 / 9	63	5842.00	3.699	1.361	.000	7.240
bb2b - CLASSE 2 / 9	45	3421.00	5.230	1.479	1.760	9.040
bb3b - CLASSE 3 / 9	20	4044.00	5.538	1.444	2.540	8.000
bb4b - CLASSE 4 / 9	36	3544.00	4.198	.923	1.890	6.420
bb5b - CLASSE 5 / 9	95	6239.00	4.382	.904	.000	6.860
bb6b - CLASSE 6 / 9	45	4291.00	3.408	1.742	.000	8.000
bb7b - CLASSE 7 / 9	38	2091.00	7.151	1.032	3.050	9.820
bb8b - CLASSE 8 / 9	57	5503.00	6.733	1.335	.640	9.830
bb9b - CLASSE 9 / 9	37	3835.00	8.760	1.520	5.550	12.190
ENSEMBLE	436	38810.00	5.265	2.113	.000	12.190

8 . Scov - Scov-Ec.type Cov --> ecart-type des convexites vertic

CLASSES	EFFECTIF	POIDS	MOYENNE	ECART TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
bb1b - CLASSE 1 / 9	63	5842.00	40.791	6.697	.000	56.390
bb2b - CLASSE 2 / 9	45	3421.00	44.787	9.052	9.030	58.350
bb3b - CLASSE 3 / 9	20	4044.00	57.264	9.315	43.860	82.170
bb4b - CLASSE 4 / 9	36	3544.00	38.499	6.054	13.370	51.980
bb5b - CLASSE 5 / 9	95	6239.00	26.389	6.508	.000	41.410
bb6b - CLASSE 6 / 9	45	4291.00	46.660	15.469	.000	96.430
bb7b - CLASSE 7 / 9	38	2091.00	35.099	7.013	10.730	52.840
bb8b - CLASSE 8 / 9	57	5503.00	29.772	7.800	5.740	52.930
bb9b - CLASSE 9 / 9	37	3835.00	27.989	5.873	12.330	43.070
ENSEMBLE	436	38810.00	37.850	12.967	.000	96.430

9 . Cvg - Cvg -Conv.vert.glob. --> convexite verticale globale (deg

CLASSES	EFFECTIF	POIDS	MOYENNE	ECART TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
bb1b - CLASSE 1 / 9	63	5842.00	7.076	6.537	-2.200	94.000
bb2b - CLASSE 2 / 9	45	3421.00	1.749	4.335	-25.400	15.700
bb3b - CLASSE 3 / 9	20	4044.00	-1.468	3.834	-14.300	9.900
bb4b - CLASSE 4 / 9	36	3544.00	-2.981	3.746	-10.300	4.500
bb5b - CLASSE 5 / 9	95	6239.00	-2.313	4.035	-30.500	15.300
bb6b - CLASSE 6 / 9	45	4291.00	-13.562	8.952	-87.100	.300
bb7b - CLASSE 7 / 9	38	2091.00	-6.450	6.622	-36.300	1.400
bb8b - CLASSE 8 / 9	57	5503.00	1.409	3.661	-7.500	27.700
bb9b - CLASSE 9 / 9	37	3835.00	-4.507	4.561	-17.800	5.200
ENSEMBLE	436	38810.00	-1.670	7.777	-87.100	94.000

7 . Mcov - Mcov-Conv.vert.moy. --> convexite verticale moyenne (deg

CLASSES	EFFECTIF	POIDS	MOYENNE	ECART TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
bb1b - CLASSE 1 / 9	63	5842.00	11.213	8.556	-2.200	103.000
bb2b - CLASSE 2 / 9	45	3421.00	4.049	6.867	-16.600	18.600
bb3b - CLASSE 3 / 9	20	4044.00	-1.173	6.636	-15.000	16.700
bb4b - CLASSE 4 / 9	36	3544.00	-4.389	4.871	-14.700	4.500
bb5b - CLASSE 5 / 9	95	6239.00	-2.171	5.674	-65.300	11.700
bb6b - CLASSE 6 / 9	45	4291.00	-15.830	12.050	-46.200	3.200
bb7b - CLASSE 7 / 9	38	2091.00	-9.713	7.399	-38.800	1.200
bb8b - CLASSE 8 / 9	57	5503.00	3.529	5.774	-14.700	35.100
bb9b - CLASSE 9 / 9	37	3835.00	-2.634	6.014	-23.700	9.100
ENSEMBLE	436	38810.00	-.861	10.580	-65.300	103.000

6 . Scoh - Scoh-Ec.type Coh --> ecart-type des convexites horizo

CLASSES	EFFECTIF	POIDS	MOYENNE	ECART TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
bb1b - CLASSE 1 / 9	63	5842.00	72.408	9.600	.000	99.800
bb2b - CLASSE 2 / 9	45	3421.00	83.485	6.743	70.090	120.720
bb3b - CLASSE 3 / 9	20	4044.00	68.304	6.668	56.800	81.690
bb4b - CLASSE 4 / 9	36	3544.00	62.112	9.218	41.820	80.280
bb5b - CLASSE 5 / 9	95	6239.00	56.221	10.017	.000	93.570
bb6b - CLASSE 6 / 9	45	4291.00	59.517	14.738	.000	113.110
bb7b - CLASSE 7 / 9	38	2091.00	72.861	9.760	53.130	120.250
bb8b - CLASSE 8 / 9	57	5503.00	50.682	8.945	7.180	67.480
bb9b - CLASSE 9 / 9	37	3835.00	52.248	10.237	35.240	72.890
ENSEMBLE	436	38810.00	62.941	14.052	.000	120.720

5 . Mcoh - Mcoh-Conv.hor.moy. --> convexite horizontale moyenne (d

CLASSES	EFFECTIF	POIDS	MOYENNE	ECART TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
bb1b - CLASSE 1 / 9	63	5842.00	7.534	13.725	-13.300	137.700
bb2b - CLASSE 2 / 9	45	3421.00	4.841	7.585	-42.400	50.300
bb3b - CLASSE 3 / 9	20	4044.00	9.252	6.130	-4.000	28.600
bb4b - CLASSE 4 / 9	36	3544.00	3.251	5.147	-8.500	25.400
bb5b - CLASSE 5 / 9	95	6239.00	-5.543	6.553	-90.000	63.000
bb6b - CLASSE 6 / 9	45	4291.00	24.294	29.248	-39.900	180.000
bb7b - CLASSE 7 / 9	38	2091.00	-2.496	9.299	-47.000	16.400
bb8b - CLASSE 8 / 9	57	5503.00	4.506	5.271	-12.600	59.800
bb9b - CLASSE 9 / 9	37	3835.00	1.040	3.620	-11.400	9.800
ENSEMBLE	436	38810.00	6.028	14.280	-90.000	180.000

ANNEXE 4

Dictionnaire décrivant les données utilisées pour l'AFC

DICTIONNAIRE SPAD.N DECRIVANT LES DONNEES UCPs

0 Surface
 10 Code Pédo 1/150000
 15F0 Sols fer.
 15F1 Sols fer.1
 15F2 Sols fer.2
 15F3 Sols fer.3
 15X Agglomerations
 15D Alluvions marines
 15A Alluvions continentales
 15K sols fer. mont. kao.
 15V Vertisols
 15E Sols fer. compacts
 6 Altitude moyenne
 A0 0-100
 A1 100-200
 A2 200-300
 A3 300-400
 A4 400-500
 A5 sup 500
 7 Pente moyenne
 P0 0-5
 P5 5-10
 P10 10-15
 P15 15-20
 P20 20-25
 P25 25-30
 P30 sup 30
 6 Pente écart type
 SP0 0-2
 SP2 2-4
 SP4 4-6
 SP6 6-8
 SP8 8-10
 SP10 sup 10
 7 Convexité horizontale moyenne
 CH0 inf -20
 CH1 -20 -10
 CH2 -10 0
 CH3 0 10
 CH4 10 40
 CH5 40 100
 CH6 sup 100
 5 Convexité horizontale écart type
 SCH0 0-25
 SCH1 25-50
 SCH2 50-75
 SCH3 75-100
 SCH4 sup 100
 6 Convexité verticale moyenne
 CV0 inf -20
 CV1 -20 -10
 CV2 -10 0
 CV3 0 10
 CV4 10 40
 CV5 sup 40
 4 Convexité verticale écart type
 SCV0 0-25
 SCV1 25-50
 SCV2 50-75
 SCV3 75-100
 8 Convexité verticale globale
 CVG0 inf -12
 CVG1 -12 -6
 CVG2 -6 -3
 CVG3 -3 -1
 CVG4 -1 0
 CVG5 0 3
 CVG6 3 7

CVG7 sup 7
 5 Indice de Beven moyen
 BEV0 0 1
 BEV1 1 2
 BEV2 2 3
 BEV3 3 4
 BEV4 sup 4
 6 Code morphologique (pedo50)
 CM1 Pentes inf. 5%
 CM2 Pentes 5% 20%
 CM3 Idem + micro relief
 CM4 Pentes 20% 50%
 CM5 Pentes sup. 50%
 CM6 Zones non cartogr.
 7 Code pédo. 1/20000 (pedo50)
 50D Alluvions marines
 50F Sols fer. friables
 50A Alluvions cont.
 50K Sols fersial.
 50V Vertisols
 50E Sols fer. compacts
 50X Zones non cartogr.
 6 Code lithologique
 GE.I Compl volc Antémioç.
 GE.A Alluvions cont.
 GE.B Brèches
 GE.C Coulées
 GE.M Alluvions marines
 GE.P Ponces et lapilli
 9 Types de végétation
 VE01 Mangrove
 VE03 Forêt marrecageuse
 VE05 Plages
 VE07 Fal. volc. xero.
 VE08 Fal. alt. meso.
 VE15 Forêt xero.
 VE18 Forêt meso.
 VE20 For hygro inf dense
 VE21 For hygro sup
 4 Importance de la végétation naturelle
 VN.A Dominance cultures
 VN.B Boissements résiduels
 VN.C Cultures éparses
 VN.D Form. nat. homogènes
 9 Pluviométrie moyenne inter-annuelle
 1750 inf 2000
 2250 2000-2500
 2750 2500-3000
 3250 3000-3500
 3750 3500-4000
 4250 4000-4500
 4750 4500-5000
 5250 5000-5500
 5750 5500-6000
 56 Pédo 1/20000-tous types (pedo50)
 A 1A1
 AB 2A2
 ABW 3A3
 ABWW 4A4
 AC 5A5
 ACG 6A6 Alluvions continentales
 ACGD 7A7
 ACWW 8A8
 ACD 9A9
 AD 10A10
 AF 11A11

 F 12F1
 FA 13F2
 FB 14F3

FC	15F4	
FD	16F5	
FCYZ	17F6	
FAX	18F7	
FAY	19F8	
FBX	20F9	
FAP	21F10	
FAYZ	22F11	
FCY	23F12	sols ferralitiques
FBY	24F13	
FBYZ	25F14	
F.M	26F15	
FAZ	27F16	
FAP	28F17	
FAYP	29F18	
FPX	30F19	
FPZ	31F20	
FCP	32F21	
FCQ	33F22	
FPY	34F23	
DG	35D1	Alluvions mmarines
DGG	36D2	
V	37V1	
VC	38V2	Vertisols
VM	39V3	
VS	40V4	
K	41K1	
KT	42K2	
KTC	43K3	
KTM	44K4	Sols fersial.
KLS	45K5	
KTS	46K6	
KL	47K7	
EBQ	48E1	
EH	49E2	
EHP	50E3	Sols fer. compacts
EC	51E4	
E	52E5	
ECQ	53E6	
RIV	Rivières	
X20	Zones urbanisées	
Y20	Zones non cartogrphiées	
2	Colluvions (pedo50)	
coll	Colluvions	
col0	Pas de colluv.	
2	Halloysite (pedo50)	
hal1	Halloysite	
hal0	Pas d'halloysite	
25	Pédo 1:20000-Principaux types (pedo50)	
PTA	All.in	
PTAB	All.tb	
PTAC	All.tc	
PTAD	All.tD	
PTAF	All.tF	
PTF	Ferr.in	
PTFA	Ferr.ta	
PTFB	Ferr.tB	
PTFC	Ferr.tC	
PTFD	Ferr.tD	
PTD	All.mar.in	
PTV	Vert.in	
PTVM	Vert.tM	
PTVC	Vert.tC	
PTVS	Vert.tS	
PTK	Fersial.in	

PTKT Fersial.tT
PTKL Fersial.tL
PTE Fer.comp.in
PTEB Fer.comp.tB
PTEC Fer.comp.tC
PTEH Fer.comp.tH
PRRI Rivières
PTX Zones urbanisées
PTY Zones non cartographiées

ANNEXE 5

Coordonnées, contributions absolues et relatives des 5 premiers axes factoriels de l'AFC préliminaire

MODALITES			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDEN - LIBELLE	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
19 . Colluvions																	
coll - Colluvions	.14	35.70	1.93	-.35	-.24	.81	.11	1.2	.1	.0	.4	.0	.10	.00	.00	.02	.00
col0 - Pas de colluv.	4.86	.03	-.05	.01	.01	-.02	-.00	.0	.0	.0	.0	.0	.10	.00	.00	.02	.00
CONTRIBUTION CUMULEE =								1.2	.1	.0	.4	.0					
20 . Halloysite																	
hal1 - Halloysite	.52	8.57	.08	.47	.35	-.04	.19	.0	.4	.2	.0	.1	.00	.03	.01	.00	.00
hal0 - Pas d'halloysite	4.48	.12	-.01	-.06	-.04	.00	-.02	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.03	.01	.00	.00
CONTRIBUTION CUMULEE =								.0	.4	.3	.0	.1					
21 . Pedo 1:25-Principaux types																	
PTA - All.in	.02	312.20	3.03	-1.30	-1.59	1.58	-.73	.3	.1	.1	.2	.0	.03	.01	.01	.01	.00
PTAB - All.tB	.03	159.24	3.04	-1.24	-1.41	2.40	-1.02	.7	.1	.2	.8	.1	.06	.01	.01	.04	.01
PTAC - All.tC	.11	46.48	2.85	-1.19	-1.37	1.86	-.89	2.0	.5	.7	1.6	.4	.17	.03	.04	.07	.02
PTAD - All.tD	.04	128.79	2.70	-.98	-1.17	1.11	-.50	.6	.1	.2	.2	.0	.06	.01	.01	.01	.00
PTAF - All.tF	.00	999.99	.47	-2.38	.64	.35	-2.20	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
PTF - Ferr.in	1.49	2.35	.15	.54	.43	-.13	.09	.1	1.3	1.0	.1	.0	.01	.12	.08	.01	.00
PTFA - Ferr.tA	.60	7.34	.60	.72	.76	-.21	.02	.5	1.0	1.3	.1	.0	.05	.07	.08	.01	.00
PTFB - Ferr.tB	.18	26.64	-.27	.72	-.07	-.27	.05	.0	.3	.0	.1	.0	.00	.02	.00	.00	.00
PTFC - Ferr.tC	.27	17.26	.48	-.20	-.03	.40	.41	.1	.0	.0	.2	.2	.01	.00	.00	.01	.01
PTFD - Ferr.tD	.02	238.55	1.02	-.11	.33	.42	.18	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
PTD - All.mar.in	.03	148.27	3.14	-2.58	-3.67	-9.14	3.54	.8	.7	1.6	12.0	1.9	.07	.04	.09	.56	.08
PTV - Vert.in	.01	332.54	-.59	-2.81	1.90	-.87	-2.09	.0	.4	.2	.0	.3	.00	.02	.01	.00	.01
PTVM - Vert.tM	.02	209.53	-.66	-2.95	2.14	-1.06	-2.44	.0	.6	.4	.1	.6	.00	.04	.02	.01	.03
PTVC - Vert.tC	.09	54.48	-.70	-3.13	1.97	-1.09	-2.57	.1	2.7	1.2	.5	2.7	.01	.18	.07	.02	.12
PTVS - Vert.tS	.06	83.29	-.63	-3.22	2.21	-1.34	-2.96	.1	1.9	1.0	.5	2.4	.00	.12	.06	.02	.11
PTK - Fersial.in	.04	121.00	-.75	-2.05	1.03	.95	2.71	.1	.5	.2	.2	1.4	.00	.03	.01	.01	.06
PTKT - Fersial.tT	.15	33.18	-.69	-1.79	1.06	.99	2.78	.2	1.4	.6	.6	5.2	.01	.10	.03	.03	.23
PTKL - Fersial.tL	.03	150.96	-.79	-2.43	.88	1.20	2.92	.0	.6	.1	.2	1.3	.00	.04	.01	.01	.06
PTE - Fer.comp.in	.01	641.36	-.59	-.99	.91	.90	3.42	.0	.0	.0	.0	.4	.00	.00	.00	.00	.02
PTEB - Fer.comp.tB	.00	999.99	-.66	-1.19	.79	1.15	3.31	.0	.0	.0	.0	.1	.00	.00	.00	.00	.01
PTEC - Fer.comp.tC	.02	305.35	-.56	-.93	1.01	.89	3.74	.0	.0	.1	.1	1.1	.00	.00	.00	.00	.05
PTEH - Fer.comp.tH	.04	117.97	-.63	-.72	.78	.71	2.87	.0	.1	.1	.1	1.6	.00	.00	.01	.00	.07
PRRI - Rivières	.02	236.46	1.21	-.04	-.51	.93	-.61	.1	.0	.0	.1	.0	.01	.00	.00	.00	.00
PTX - Zones urbanisees	.12	40.09	.74	.09	-.03	-.27	-.41	.2	.0	.0	.0	.1	.01	.00	.00	.00	.00
PTY - Zones non cartograph	1.58	2.17	-.72	.04	-.87	.11	-.31	1.9	.0	4.2	.1	.7	.24	.00	.34	.01	.05
21_ - reponse manquante	.01	523.91	1.25	.32	.17	.49	-.08	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
CONTRIBUTION CUMULEE =								7.8	12.4	13.3	17.7	20.8					

.MODALITES			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDEN - LIBELLE	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2 . Code Pedo 1/150000																	
15F0 - Sols fer.	.84	4.96	.58	-.10	.12	.32	.30	.6	.0	.0	.4	.4	.07	.00	.00	.02	.02
15F1 - Sols fer.1	.42	10.97	.51	.65	.71	-.03	-.03	.2	.5	.8	.0	.0	.02	.04	.05	.00	.00
15F2 - Sols fer.2	1.47	2.41	.03	.72	.38	-.28	-.11	.0	2.3	.8	.5	.1	.00	.22	.06	.03	.00
15F3 - Sols fer.3	1.45	2.45	-.78	.14	-.85	.05	-.17	2.0	.1	3.7	.0	.2	.25	.01	.29	.00	.01
15X - Agglomerations	.05	109.95	1.53	-.21	-.39	-.38	-.07	.2	.0	.0	.0	.0	.02	.00	.00	.00	.00
15D - Alluvions marines	.04	116.60	2.99	-2.33	-3.12	-6.77	2.43	.9	.7	1.5	8.4	1.2	.08	.05	.08	.39	.05
15A - Alluvions continen	.21	22.59	2.59	-.94	-1.09	1.68	-.75	3.2	.6	.9	2.6	.5	.30	.04	.05	.12	.02
15K - sols fer. mont. ka	.25	18.91	-.72	-1.83	.85	.86	2.31	.3	2.6	.6	.8	6.2	.03	.18	.04	.04	.28
15V - Vertisols	.22	21.42	-.64	-2.85	1.73	-1.01	-2.36	.2	5.6	2.4	1.0	5.7	.02	.38	.14	.05	.26
15E - Sols fer. compaact	.06	89.43	-.54	-.89	.94	.78	3.11	.0	.1	.2	.1	2.5	.00	.01	.01	.01	.11
CONTRIBUTION CUMULEE								7.8	12.6	10.9	13.8	16.7					
3 . Altitude moyenne																	
A0 - 0-100	1.29	2.88	1.18	-.27	.14	.06	-.24	4.1	.3	.1	.0	.4	.48	.03	.01	.00	.02
A1 - 100-200	1.12	3.47	.07	.22	.64	-.20	-.07	.0	.2	1.7	.2	.0	.00	.01	.12	.01	.00
A2 - 200-300	1.11	3.52	-.37	.11	.30	-.08	.43	.3	.0	.3	.0	.9	.04	.00	.02	.00	.05
A3 - 300-400	.59	7.49	-.72	-.00	-.56	.14	.13	.7	.0	.7	.1	.0	.07	.00	.04	.00	.00
A4 - 400-500	.58	7.55	-.85	.00	-.96	.12	-.19	1.0	.0	1.9	.0	.1	.10	.00	.12	.00	.00
A5 - sup 500	.31	15.05	-.88	-.05	-1.08	.22	-.16	.6	.0	1.3	.1	.0	.05	.00	.08	.00	.00
CONTRIBUTION CUMULEE								6.7	.5	6.0	.4	1.5					
4 . Pente moyenne																	
P0 - 0-5	.39	11.85	2.22	-.72	-.91	-.04	.14	4.4	.6	1.2	.0	.0	.42	.04	.07	.00	.00
P5 - 5-10	1.61	2.10	.51	.65	.53	-.08	-.09	.9	2.1	1.6	.0	.1	.12	.20	.13	.00	.00
P10 - 10-15	1.53	2.26	-.36	.23	-.07	-.10	-.02	.4	.2	.0	.1	.0	.06	.02	.00	.00	.00
P15 - 15-20	.87	4.77	-.71	-.85	.04	-.01	-.10	1.0	1.9	.0	.0	.0	.11	.15	.00	.00	.00
P20 - 20-25	.46	9.91	-.83	-.72	-.56	.50	.40	.7	.7	.5	.5	.3	.07	.05	.03	.03	.02
P25 - 25-30	.14	35.70	-.98	-.36	-1.16	.54	.16	.3	.1	.7	.2	.0	.03	.00	.04	.01	.00
P30 - sup 30	.00	999.99	-1.13	-.27	-1.51	.40	-.13	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
CONTRIBUTION CUMULEE								7.8	5.6	4.0	.8	.5					
5 . Pente ecart																	
SP0 - 0-2	.20	24.61	1.83	-.59	-.60	.95	-.20	1.5	.2	.3	.8	.0	.14	.01	.01	.04	.00
SP2 - 2-4	1.25	3.00	.43	.45	.08	-.38	.03	.5	.8	.0	.8	.0	.06	.07	.00	.05	.00
SP4 - 4-6	1.71	1.92	-.08	.21	.08	.01	.02	.0	.2	.0	.0	.0	.00	.02	.00	.00	.00
SP6 - 6-8	1.30	2.85	-.26	-.34	.14	.10	-.04	.2	.5	.1	.1	.0	.02	.04	.01	.00	.00
SP8 - 8-10	.47	9.53	-.74	-.76	-.36	.22	.09	.6	.8	.2	.1	.0	.06	.06	.01	.00	.00
SP10 - sup 10	.07	70.12	-1.03	-.07	-1.78	.45	-.29	.2	.0	.8	.1	.0	.02	.00	.05	.00	.00
CONTRIBUTION CUMULEE								3.0	2.5	1.4	1.8	.1					

MODALITES			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDEN - LIBELLE	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
6 . Convexite horizontale moyenne																	
CHO - inf -20	.02	218.03	-.05	.32	-.57	-.20	-.16	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
CH1 - -20 -10	.08	58.92	-.39	.30	-.47	-.05	-.25	.0	.0	.1	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
CH2 - -10 0	1.11	3.52	-.52	-.16	-.15	.04	.13	.7	.1	.1	.0	.1	.08	.01	.01	.00	.00
CH3 - 0 10	2.78	.80	-.16	.15	.04	.04	.06	.2	.2	.0	.0	.0	.03	.03	.00	.00	.00
CH4 - 10 40	.86	4.81	.75	-.11	.42	-.07	-.35	1.1	.0	.6	.0	.5	.12	.00	.04	.00	.03
CH5 - 40 100	.12	39.48	2.70	-1.18	-1.70	-1.32	.48	2.1	.5	1.3	.9	.1	.18	.04	.07	.04	.01
CH6 - sup 100	.02	227.58	3.68	-1.83	-2.22	3.53	-1.57	.7	.2	.4	1.2	.2	.06	.01	.02	.05	.01
CONTRIBUTION CUMULEE =								4.7	1.1	2.4	2.1	1.0					
7 . Convexite horizontale ecart																	
SCH0 - 0-25	.01	427.31	.60	-.50	-.15	.25	-.19	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
SCH1 - 25-50	.91	4.49	-.33	-.91	-.00	.13	-.01	.2	2.3	.0	.1	.0	.02	.18	.00	.00	.00
SCH2 - 50-75	2.95	.70	-.04	.14	.01	.07	.03	.0	.2	.0	.1	.0	.00	.03	.00	.01	.00
SCH3 - 75-100	1.12	3.48	.36	.39	.01	-.31	-.04	.3	.5	.0	.5	.0	.04	.04	.00	.03	.00
SCH4 - sup 100	.01	377.90	.82	-.54	-1.63	1.23	-.94	.0	.0	.1	.1	.1	.00	.00	.01	.00	.00
CONTRIBUTION CUMULEE =								.6	3.0	.1	.7	.1					
8 . Convexite verticale moyenne																	
CV0 - inf -20	.23	20.41	1.62	-.53	-.47	.15	-.22	1.4	.2	.2	.0	.1	.13	.01	.01	.00	.00
CV1 - -20 -10	.54	8.28	.44	-.10	-.38	.38	-.24	.2	.0	.3	.3	.1	.02	.00	.02	.02	.01
CV2 - -10 0	1.73	1.88	-.30	.04	-.23	.15	.15	.4	.0	.3	.2	.2	.05	.00	.03	.01	.01
CV3 - 0 10	1.96	1.56	-.08	-.05	.17	-.18	-.01	.0	.0	.2	.3	.0	.00	.00	.02	.02	.00
CV4 - 10 40	.54	8.30	.10	.36	.72	-.26	-.10	.0	.2	1.0	.2	.0	.00	.02	.06	.01	.00
CV5 - sup 40	.00	999.99	1.12	.13	.14	-.00	.07	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
CONTRIBUTION CUMULEE =								2.0	.5	2.0	.9	.4					
9 . Convexite verticale ecart																	
SCV0 - 0-25	.77	5.50	-.65	-.52	-.47	.24	-.00	.7	.6	.6	.2	.0	.08	.05	.04	.01	.00
SCV1 - 25-50	3.30	.51	-.10	.05	.03	-.12	.06	.1	.0	.0	.2	.1	.02	.01	.00	.03	.01
SCV2 - 50-75	.87	4.75	.86	.26	.30	.17	-.21	1.5	.2	.3	.1	.2	.16	.01	.02	.01	.01
SCV3 - 75-100	.06	84.21	1.12	.04	.06	.89	-.44	.2	.0	.0	.2	.1	.01	.00	.00	.01	.00
CONTRIBUTION CUMULEE =								2.5	.8	.9	.7	.3					
10 . Convexite verticale globale																	
CVG0 - inf -12	.45	10.10	1.66	-.56	-.79	-.27	.04	2.8	.4	1.0	.1	.0	.27	.03	.06	.01	.00
CVG1 - -12 -6	.52	8.69	.09	-.07	-.53	.32	-.25	.0	.0	.5	.2	.2	.00	.00	.03	.01	.01
CVG2 - -6 -3	.78	5.44	-.35	.22	-.30	.09	.04	.2	.1	.3	.0	.0	.02	.01	.02	.00	.00
CVG3 - -3 -1	.79	5.31	-.30	-.25	.02	.19	.41	.2	.1	.0	.1	.6	.02	.01	.00	.01	.03
CVG4 - -1 0	.44	10.34	-.39	-.38	.20	.19	.47	.2	.2	.1	.1	.5	.01	.01	.00	.00	.02
CVG5 - 0 3	1.06	3.72	-.07	.28	.19	-.06	-.14	.0	.3	.1	.0	.1	.00	.02	.01	.00	.01
CVG6 - 3 7	.49	9.15	-.31	-.13	.47	-.36	-.47	.1	.0	.4	.3	.5	.01	.00	.02	.01	.02
CVG7 - sup 7	.47	9.59	.26	.53	.70	-.23	-.15	.1	.4	.8	.1	.1	.01	.03	.05	.01	.00
CONTRIBUTION CUMULEE =								3.6	1.6	3.2	1.0	1.9					

MODALITES			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDEN - LIBELLE	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
11 . Indice de beeven moyen																	
BEV0 - 0 1	.36	12.77	-.85	-.68	-.74	.61	.51	.6	.5	.7	.6	.4	.06	.04	.04	.03	.02
BEV1 - 1 2	2.86	.75	-.49	-.13	-.07	-.05	-.04	1.6	.1	.0	.0	.0	.32	.02	.01	.00	.00
BEV2 - 2 3	1.49	2.36	.66	.59	.55	-.01	-.08	1.5	1.6	1.6	.0	.0	.18	.15	.13	.00	.00
BEV3 - 3 4	.26	18.20	2.38	-.84	-1.11	-.57	.39	3.4	.6	1.1	.4	.2	.31	.04	.07	.02	.01
BEV4 - sup 4	.03	167.04	3.76	-1.88	-2.30	3.03	-1.36	1.0	.3	.6	1.2	.3	.08	.02	.03	.05	.01
CONTRIBUTION CUMULEE =								8.0	3.1	4.1	2.2	.9					
12 . Code morphologique (pedo50)																	
CM1 - Pentes inf. 5%	.52	8.65	2.02	-.63	-.56	.23	-.11	4.8	.6	.6	.1	.0	.47	.05	.04	.01	.00
CM2 - Pentes 5% 20%	.67	6.43	.30	.33	.78	-.12	.12	.1	.2	1.5	.0	.0	.01	.02	.09	.00	.00
CM3 - Idem + micro relief	.27	17.25	.12	-.24	.67	-.02	.36	.0	.0	.4	.0	.2	.00	.00	.03	.00	.01
CM4 - Pentes 20% 50%	1.08	3.63	.02	.15	.72	-.17	.17	.0	.1	2.0	.1	.1	.00	.01	.14	.01	.01
CM5 - Pentes sup. 50%	.73	5.81	-.38	-.08	.26	-.01	.35	.2	.0	.2	.0	.4	.02	.00	.01	.00	.02
CM6 - Zones non cartogr.	1.72	1.91	-.60	.04	-.80	.09	-.32	1.4	.0	4.0	.1	.8	.19	.00	.34	.00	.06
CONTRIBUTION CUMULEE =								6.6	1.0	8.6	.4	1.6					
13 . Code pedo. 1/20000																	
SOD - Alluvions marines	.03	148.27	3.14	-2.58	-3.67	-9.14	3.54	.8	.7	1.6	12.0	1.9	.07	.04	.09	.56	.08
SOF - Sols fer. friables	2.57	.95	.27	.51	.42	-.10	.10	.4	2.0	1.6	.1	.1	.07	.27	.19	.01	.01
SOA - Alluvions cont.	.19	25.08	2.86	-1.17	-1.35	1.77	-.82	3.6	.8	1.2	2.6	.6	.33	.05	.07	.13	.03
SOE - Sols fersial.	.22	21.71	-.71	-1.93	1.03	1.01	2.79	.3	2.5	.8	1.0	7.9	.02	.17	.05	.05	.36
SOV - Vertisols	.19	25.57	-.66	-3.11	2.06	-1.15	-2.64	.2	5.6	2.9	1.1	6.0	.02	.38	.17	.05	.27
SOE - Sols fer. compacts	.07	72.01	-.61	-.81	.85	.79	3.16	.1	.1	.2	.2	3.1	.01	.01	.01	.01	.14
SOX - Zones non cartogr.	1.73	1.89	-.59	.04	-.80	.09	-.32	1.4	.0	3.9	.1	.8	.18	.00	.34	.00	.06
CONTRIBUTION CUMULEE =								6.6	11.8	12.3	17.0	20.5					
14 . Code lithologique																	
GE.I - Compl volc ant Mioc	3.08	.63	-.02	.52	.05	-.13	-.10	.0	2.5	.0	.2	.1	.00	.43	.00	.03	.01
GE.A - Alluvions cont.	.55	8.03	1.71	-.53	-.42	.68	-.14	3.7	.5	.4	1.1	.1	.37	.03	.02	.06	.00
GE.B - Brèches	.60	7.39	-.77	-.62	-.17	-.04	-.26	.8	.7	.1	.0	.2	.08	.05	.00	.00	.01
GE.C - Coulées	.56	7.98	-.69	-1.12	.36	.31	.68	.6	2.1	.3	.2	1.2	.06	.16	.02	.01	.06
GE.M - Alluvions marines	.04	125.74	2.42	-1.39	-2.13	-4.92	1.75	.5	.2	.6	4.1	.6	.05	.02	.04	.19	.02
GE.P - Ponces et lapilli	.18	27.02	-.72	-1.38	.37	.35	.47	.2	1.0	.1	.1	.2	.02	.07	.01	.00	.01
CONTRIBUTION CUMULEE =								5.9	7.1	1.4	5.8	2.3					
15 . Types de végétation																	
VE01 - Mangrove	.02	242.24	3.51	-2.56	-4.13	-9.45	3.75	.6	.4	1.3	7.9	1.3	.05	.03	.07	.37	.06
VE03 - Foret marrecageuse	.01	582.80	3.43	-2.16	-3.29	-6.02	2.38	.2	.1	.3	1.3	.2	.02	.01	.02	.06	.01
VE05 - Plages	.01	446.06	.52	-2.30	-.55	-3.44	-.84	.0	.2	.0	.6	.0	.00	.01	.00	.03	.00
VE07 - Fal. volc. xero.	.03	183.09	-.63	-2.75	1.58	-1.21	-2.95	.0	.6	.2	.2	1.1	.00	.04	.01	.01	.05
VE08 - Fal. alt. meso.	.03	156.24	2.14	-.79	-1.27	-1.07	.21	.3	.1	.2	.2	.0	.03	.00	.01	.01	.00
VE15 - Forêt xero.	.26	17.91	-.71	-2.73	1.47	-.40	-.70	.3	6.0	2.0	.2	.6	.03	.42	.12	.01	.03
VE18 - Forêt meso.	2.52	.99	.52	.08	.30	.26	.17	1.5	.1	.8	.7	.3	.27	.01	.09	.07	.03
VE20 - For hygro inf dense	2.09	1.39	-.59	.34	-.47	-.10	-.12	1.7	.8	1.7	.1	.1	.25	.08	.16	.01	.01
VE21 - For hygro sup	.03	170.50	-1.05	.02	-1.91	.38	-.50	.1	.0	.4	.0	.0	.01	.00	.02	.00	.00
CONTRIBUTION CUMULEE =								4.8	8.3	6.9	11.1	3.8					

MODALITES			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDEN - LIBELLE	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
16 . Importance de la végétation naturelle																	
VN.A - Dominance cultures	.42	10.99	2.08	-.52	-.53	1.03	-.27	4.1	.4	.4	1.9	.1	.39	.02	.03	.10	.01
VN.B - Boissements residuels	1.21	3.13	.62	.56	.60	-.02	-.05	1.1	1.2	1.6	.0	.0	.12	.10	.12	.00	.00
VN.C - Cultures éparses	1.18	3.24	-.73	-1.13	.17	.30	.46	1.5	4.7	.1	.4	1.1	.17	.40	.01	.03	.07
VN.D - Form nat homogènes	2.19	1.28	-.34	.40	-.33	-.35	-.17	.6	1.1	.8	1.1	.3	.09	.12	.08	.09	.02
CONTRIBUTION CUMULEE =								7.2	7.2	3.0	3.5	1.6					
17 . Pluviométrie moyenne inter-annuelle																	
1750 - inf 2000	.19	25.50	-.48	-2.84	1.53	-1.24	-1.99	.1	4.7	1.6	1.2	3.4	.01	.32	.09	.06	.16
2250 - 2000-2500	.62	7.03	1.13	-.96	.03	.19	.24	1.8	1.8	.0	.1	.2	.18	.13	.00	.00	.01
2750 - 2500-3000	.90	4.57	.61	.03	.42	.26	.48	.8	.0	.6	.3	1.0	.08	.00	.04	.02	.05
3250 - 3000-3500	.73	5.86	.23	.32	.45	.11	.17	.1	.2	.5	.0	.1	.01	.02	.03	.00	.01
3750 - 3500-4000	.70	6.10	-.23	.40	.08	-.09	-.05	.1	.4	.0	.0	.0	.01	.03	.00	.00	.00
4250 - 4000-4500	.69	6.21	-.49	.42	-.23	-.17	-.11	.4	.4	.1	.1	.0	.04	.03	.01	.00	.00
4750 - 4500-5000	.61	7.22	-.59	.37	-.46	-.11	-.08	.5	.3	.5	.0	.0	.05	.02	.03	.00	.00
5250 - 5000-5500	.35	13.23	-.82	.18	-.98	.04	-.24	.5	.0	1.2	.0	.1	.05	.00	.07	.00	.00
5750 - 5500-6000	.20	23.47	-.91	.06	-1.43	.18	-.45	.4	.0	1.5	.0	.2	.04	.00	.09	.00	.01
CONTRIBUTION CUMULEE =								4.7	7.7	6.0	1.8	5.0					

MODALITES			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDEN - LIBELLE	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
18 . Pedo 1:20-tous types																	
A - 1A1	.02	312.20	3.03	-1.30	-1.59	1.58	-.73	.3	.1	.1	.2	.0	.03	.01	.01	.01	.00
AB - 2A2	.02	206.03	3.26	-1.39	-1.59	2.56	-1.15	.6	.1	.2	.7	.1	.05	.01	.01	.03	.01
ABW - 3A3	.00	999.99	2.94	-1.11	-1.25	1.84	-.56	.1	.0	.0	.0	.0	.01	.00	.00	.00	.00
ABWW - 4A4	.00	999.99	2.24	-.72	-.31	1.88	-.84	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
AC - 5A5	.07	72.68	2.91	-1.29	-1.51	2.12	-1.00	1.3	.3	.6	1.3	.3	.12	.02	.03	.06	.01
ACG - 6A6	.02	312.37	2.86	-1.14	-1.41	.96	-.50	.3	.1	.1	.1	.0	.03	.00	.01	.00	.00
ACWW - 8A8	.02	231.64	2.66	-.89	-.91	1.72	-.82	.3	.1	.1	.3	.1	.03	.00	.00	.01	.00
AD - 10A10	.04	128.79	2.70	-.98	-1.17	1.11	-.50	.6	.1	.2	.2	.0	.06	.01	.01	.01	.00
AF - 11A11	.00	999.99	.47	-2.38	.64	.35	-2.20	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
F - 12F1	1.98	1.53	.18	.56	.45	-.14	.09	.1	1.9	1.4	.2	.1	.02	.21	.13	.01	.00
FA - 13F2	.07	67.53	1.67	.09	.33	.37	-.01	.5	.0	.0	.0	.0	.04	.00	.00	.00	.00
FB - 14F3	.00	999.99	1.63	.14	.12	.67	-.13	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
FC - 15F4	.11	45.35	1.60	-.49	-.35	.73	.34	.6	.1	.0	.2	.1	.06	.01	.00	.01	.00
FD - 16F5	.01	365.48	1.71	-.14	.32	.51	.03	.1	.0	.0	.0	.0	.01	.00	.00	.00	.00
FCYZ - 17F6	.00	999.99	.29	.47	.09	-.15	-.09	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
FAX - 18F7	.02	210.25	1.04	.79	1.08	.05	-.11	.1	.0	.1	.0	.0	.01	.00	.01	.00	.00
FAY - 19F8	.09	57.64	.30	.82	.84	-.35	.04	.0	.2	.2	.0	.0	.00	.01	.01	.00	.00
FBX - 20F9	.01	341.68	.95	.80	.80	-.15	-.10	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
FBY - 24F13	.02	301.97	-.17	1.04	.26	-.54	.13	.0	.1	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
FAZ - 27F16	.01	910.15	-.12	.77	.23	-.41	.04	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
FAP - 28F17	.01	396.63	1.36	.23	.50	-.28	.03	.1	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
FAYP - 29F18	.13	38.84	.02	1.00	.75	-.56	-.03	.0	.4	.3	.2	.0	.00	.03	.01	.01	.00
FPX - 30F19	.00	999.99	-.95	.29	-1.23	.35	.18	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
FPZ - 31F20	.03	150.18	-.49	.89	-.20	-.42	.10	.0	.1	.0	.0	.0	.00	.01	.00	.00	.00
FCP - 32F21	.04	122.98	-.55	-.47	-.08	.58	.82	.0	.0	.0	.1	.1	.00	.00	.00	.00	.01
FCQ - 33F22	.04	131.74	-.53	-.35	.06	.38	.64	.0	.0	.0	.0	.1	.00	.00	.00	.00	.00
FPY - 34F23	.01	379.81	3.11	-2.45	-3.39	-8.16	3.31	.3	.2	.5	3.8	.7	.03	.02	.03	.18	.03
DG - 35D1	.02	244.51	3.15	-2.67	-3.86	-9.76	3.69	.5	.4	1.1	8.3	1.3	.04	.03	.06	.39	.06
V - 37V1	.02	316.72	-.59	-2.79	1.88	-.86	-2.08	.0	.4	.2	.1	.3	.00	.02	.01	.00	.01
VC - 38V2	.09	54.94	-.70	-3.14	1.97	-1.09	-2.58	.1	2.7	1.2	.5	2.7	.01	.18	.07	.02	.12
VM - 39V3	.02	209.53	-.66	-2.95	2.14	-1.06	-2.44	.0	.6	.4	.1	.6	.00	.04	.02	.01	.03
VS - 40V4	.06	83.29	-.63	-3.22	2.21	-1.34	-2.96	.1	1.9	1.0	.5	2.4	.00	.12	.06	.02	.11
K - 41K1	.08	61.78	-.70	-1.93	1.09	.92	2.62	.1	.9	.3	.3	2.5	.01	.06	.02	.01	.11
KT - 42K2	.07	73.51	-.72	-1.84	1.02	1.04	2.84	.1	.7	.3	.3	2.5	.01	.05	.01	.01	.11
KTC - 43K3	.01	517.27	-.72	-1.79	1.03	1.09	2.91	.0	.1	.0	.0	.4	.00	.01	.00	.00	.02
KTM - 44K4	.01	657.40	-.52	-1.56	1.07	.98	3.00	.0	.1	.0	.0	.3	.00	.00	.00	.00	.01
KLS - 45K5	.02	239.71	-.87	-2.45	.74	1.30	3.02	.0	.4	.0	.2	.9	.00	.03	.00	.01	.04
KTS - 46K6	.02	213.73	-.67	-1.66	1.04	.99	2.88	.0	.2	.1	.1	.9	.00	.01	.01	.00	.04
KL - 47K7	.01	411.12	-.65	-2.38	1.13	1.02	2.74	.0	.2	.1	.1	.4	.00	.01	.00	.00	.02
EBQ - 48E1	.00	999.99	-.66	-1.19	.79	1.15	3.31	.0	.0	.0	.0	.1	.00	.00	.00	.00	.01
EH - 49E2	.01	913.01	-.55	-.94	1.00	.89	3.58	.0	.0	.0	.0	.3	.00	.00	.00	.00	.01
EHP - 50E3	.03	155.07	-.61	-.60	.74	.62	2.66	.0	.0	.1	.1	1.0	.00	.00	.00	.00	.05
EC - 51E4	.01	819.89	-.57	-.81	1.09	.86	3.84	.0	.0	.0	.0	.4	.00	.00	.00	.00	.02
E - 52E5	.01	405.35	-.69	-1.09	.87	.97	3.47	.0	.0	.0	.1	.7	.00	.00	.00	.00	.03
ECQ - 53E6	.01	487.75	-.55	-1.00	.97	.91	3.68	.0	.0	.0	.0	.6	.00	.00	.00	.00	.03
RIV - Rivières	.02	236.46	1.21	-.04	-.51	.93	-.61	.1	.0	.0	.1	.0	.01	.00	.00	.00	.00
X20 - Zones urbanisees	.12	40.09	.74	.09	-.03	-.27	-.41	.2	.0	.0	.0	.1	.01	.00	.00	.00	.00
Y20 - Zones non cartogrphi	1.58	2.17	-.72	.04	-.87	.11	-.31	1.9	.0	4.2	.1	.7	.24	.00	.34	.01	.05
18 - reponse manquante	.00	999.99	1.59	-.38	-.42	1.85	-.48	.0	.0	.0	.0	.0	.00	.00	.00	.00	.00
CONTRIBUTION CUMULEE =								8.6	12.7	13.2	18.2	20.9					

ANNEXE 6

Programme SPAD.N - AFC (seconde itération) et classification des variables nominales issues de la carte des UCPs

```

:-----PROCEDURE REALISANT L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES-----
:-----SUR 17 VARIABLES ENREGISTREES SUR LA ZONE TEST-----

:-----FICHIERS EN ENTREE/SORTIE

NDICZ = 'SUPERPED.DIC', NDONZ = 'SUPERPED.DON'>

:-----

      PROC ARDIC
=====Archivage du dictionnaire=====
NQEXA = 21, NXMOD = 56, LEDIT = 0

:-----

      PROC ARDON
=====Archivage du tableau de données=====
LDONZ = 1, NIDI = 1, NQEXA = 21, NIEXA = 8000, NLFOR = -1, NCOLZ = 60 >
NEDIT = 0, LEXTR = 0

:-----

      PROC SELEC
=====Sélection des données=====
LSELI = TOT, IMASS = 1, LEDIT = 0

:-----Variables retenues
NOMI ACT 2 -- 4, 10 -- 17
NOMI ILL 5 -- 9, 18 -- 21
FIN

:-----

      PROC CORMU
=====AFC des données de la zone test=====
NAXE = 7, PCMIN = 2.0, LBURT = 0, NVEDI = 20, NAXED = 5, LEDIN = 0, LEDCO = 1

:-----

      PROC DEFAC
=====AFC Description des axes factoriels=====
SEUIL = 20, LCRIM = 2
VEC 1--5 / MOD ACT
FIN

:-----

      PROC GRAPH
=====Affichage des résultats de l'AFC=====
NOPAR

:-----Commandes
:-----Représentation des modalités
:-----Plan factoriel principal
POINTS = MOD / X = VEC 1 / Y = VEC 2 / IDENT = 1A4 / SELECT = INER = 0 >
  DOUBLE = NO / ZOOM = 0.0 / ZERO = IN / XTITLE = 'ZTAF1(MOD)' >
  YTITLE = 'ZTAF2(MOD)'

:-----Plan factoriel 2-4
POINTS = MOD / X = VEC 2 / Y = VEC 4 / IDENT = 1A4 / SELECT = INER = 0 >
  DOUBLE = NO / ZOOM = 0.0 / ZERO = IN / XTITLE = 'ZTAF2(MOD)' >
  YTITLE = 'ZTAF4(MOD)'

:-----Plan factoriel 2-3
POINTS = MOD / X = VEC 2 / Y = VEC 3 / IDENT = 1A4 / SELECT = INER = 0 >
  DOUBLE = NO / ZOOM = 0.0 / ZERO = IN / XTITLE = 'ZTAF2(MOD)' >
  YTITLE = 'ZTAF3(MOD)'

FIN

```

```

:-----
CALSSIFICATION DES DONNEES

:-----

      PROC SEMIS
=====Classification mixte (nuées dynamiques et agrég. hiérarchique=====
NAXU = 5, NITER = 15, LMETH = 2, SEUIL = 20, LRESI = 0 >
LDESC = 1, LDEND = 2
15

:-----

      PROC PARTI
=====Partitions par coupure de l'arbre d'agrégation=====
NXPAP = 1, NITER = 1, LEDIN = 0, NAXED = 5
7 : Nombre de classes dans chaque partition

:-----

      PROC DECLA
=====ZT Description des partitions effectuées=====
LPNOM = 0, EDNOM = 0, CNOMI = 0, PMODA = 0, CMODA = 20, PCMIN = 2.0 >
LSUPR = 1, PFREQ = 0, LPFRE = 0, CFREQ = 0, LPCON = 0, EDCON = 0 >
CCONT = 0, PAXE = 0, CAXE = 0, LEDIN = 2
7 : Nombre de classes à décrire dans chaque partition

:-----

      PROC GRAPH
=====ZT Aff. résultats de la classification=====
LCLAS = 1

:-----Commandes
:-----Représentation des modalités illustratives et des classes
:-----Plan factoriel principal
POINTS = CLA 7 / X = VEC 1 / Y = VEC 2 / IDENT = 1A4 >
SELECT = INER = 0 / DOUBLE = NO / ZOOM = 0.0 / ZERO = IN >
XTITLE = 'AFC1' / YTITLE = 'AFC2'

FIN

:-----
STOP

```

ANNEXE 7

**Coordonnées, contributions absolues et relatives des 5
premiers axes de l'AFC effectuée à la seconde itération**

MODALITES			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDEN - LIBELLE	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2 . Code Peda 1/150000																	
15F0 - Sols fer.	1.56	4.84	0.73	0.29	0.15	-0.64	-0.16	1.5	0.3	0.1	2.7	0.2	0.11	0.02	0.00	0.09	0.01
15F1 - Sols fer.1	0.79	10.46	0.73	-0.61	-0.61	-0.29	-0.59	0.8	0.8	0.9	0.3	1.4	0.05	0.04	0.04	0.01	0.03
15F2 - Sols fer.2	2.70	2.37	0.04	-0.81	-0.54	0.25	0.14	0.0	4.5	2.4	0.7	0.3	0.00	0.28	0.12	0.03	0.01
15F3 - Sols fer.3	2.66	2.42	-0.94	-0.07	0.84	0.07	-0.05	4.3	0.0	5.7	0.1	0.0	0.36	0.00	0.29	0.00	0.00
15A - Alluvions cont.	0.45	19.38	2.18	0.90	1.58	0.46	0.38	3.9	0.9	3.4	0.4	0.3	0.25	0.04	0.13	0.01	0.01
15K - sols fer. mont. ka	0.50	17.24	-0.29	1.79	-1.02	-1.63	1.70	0.1	4.1	1.6	5.5	7.6	0.00	0.19	0.06	0.15	0.17
15V - Vertisols	0.44	19.77	-0.36	2.55	-1.66	2.25	-1.22	0.1	7.3	3.7	9.3	3.5	0.01	0.33	0.14	0.26	0.08
CONTRIBUTION CUMULEE =								10.7	17.9	17.7	18.9	13.3					
3 . Altitude moyenne																	
A0 - 0-100	2.34	2.88	1.22	0.27	0.15	0.17	-0.23	6.5	0.5	0.2	0.3	0.7	0.52	0.03	0.01	0.01	0.02
A1 - 100-200	2.04	3.47	0.20	-0.31	-0.88	-0.05	-0.48	0.1	0.5	4.8	0.0	2.5	0.01	0.03	0.22	0.00	0.07
A2 - 200-300	2.01	3.52	-0.36	-0.13	-0.37	0.10	1.01	0.5	0.1	0.8	0.1	10.7	0.04	0.00	0.04	0.00	0.29
A3 - 300-400	1.07	7.48	-0.83	0.10	0.49	-0.39	0.24	1.4	0.0	0.8	0.7	0.3	0.09	0.00	0.03	0.02	0.01
A4 - 400-500	1.06	7.55	-1.02	0.05	0.98	-0.03	-0.36	2.0	0.0	3.1	0.0	0.7	0.14	0.00	0.13	0.00	0.02
A5 - sup 500	0.57	15.05	-1.01	0.15	1.08	-0.06	-0.67	1.1	0.0	2.0	0.0	1.3	0.07	0.00	0.08	0.00	0.03
CONTRIBUTION CUMULEE =								11.6	1.1	11.7	1.1	16.2					
4 . Pente moyenne																	
P0 - 0-5	0.71	11.85	2.01	0.80	1.37	0.32	0.22	5.3	1.2	4.0	0.3	0.2	0.34	0.05	0.16	0.01	0.00
P5 - 5-10	2.94	2.09	0.60	-0.71	-0.48	-0.04	-0.10	1.9	3.8	2.1	0.0	0.2	0.17	0.24	0.11	0.00	0.01
P10 - 10-15	2.79	2.26	-0.43	-0.25	0.08	0.36	0.28	0.9	0.4	0.1	1.5	1.1	0.08	0.03	0.00	0.06	0.03
P15 - 15-20	1.58	4.77	-0.70	0.82	-0.16	0.32	0.02	1.4	2.7	0.1	0.7	0.0	0.10	0.14	0.01	0.02	0.00
P20 - 20-25	0.83	9.90	-0.78	0.87	0.30	-1.31	-0.32	0.9	1.6	0.2	6.0	0.5	0.06	0.08	0.01	0.17	0.01
P25 - 25-30	0.25	35.70	-0.96	0.72	0.85	-2.16	-1.59	0.4	0.3	0.5	4.8	3.3	0.03	0.01	0.02	0.13	0.07
CONTRIBUTION CUMULEE =								10.9	10.0	7.0	13.3	5.3					
10 . Convexite verticale globale																	
CVG0 - inf -12	0.82	10.10	1.46	0.53	1.00	0.31	0.16	3.2	0.6	2.5	0.3	0.1	0.21	0.03	0.10	0.01	0.00
CVG1 - -12 -6	0.94	8.69	0.09	0.10	0.68	0.19	-0.49	0.0	0.0	1.3	0.1	1.2	0.00	0.00	0.05	0.00	0.03
CVG2 - -6 -3	1.41	5.44	-0.43	-0.21	0.34	-0.03	0.31	0.5	0.2	0.5	0.0	0.7	0.03	0.01	0.02	0.00	0.02
CVG3 - -3 -1	1.44	5.31	-0.25	0.32	-0.06	-0.52	0.11	0.2	0.4	0.0	1.6	0.1	0.01	0.02	0.00	0.05	0.00
CVG4 - -1 0	0.80	10.34	-0.31	0.47	-0.32	-0.44	0.58	0.1	0.4	0.3	0.7	1.4	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03
CVG5 - 0 3	1.93	3.72	-0.06	-0.34	-0.20	0.07	-0.07	0.0	0.6	0.2	0.0	0.1	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00
CVG6 - 3 7	0.90	9.15	-0.31	0.10	-0.56	0.74	-0.02	0.2	0.0	0.8	2.1	0.0	0.01	0.00	0.03	0.06	0.00
CVG7 - sup 7	0.86	9.59	0.37	-0.58	-0.81	-0.09	-0.66	0.2	0.7	1.7	0.0	1.9	0.01	0.04	0.07	0.00	0.04
CONTRIBUTION CUMULEE =								4.4	2.9	7.3	4.9	5.5					
11 . Indice de Beven moyen																	
BEV0 - 0 1	0.68	12.45	-0.71	0.97	0.49	-2.01	-0.78	0.6	1.6	0.5	11.3	2.2	0.04	0.08	0.02	0.32	0.05
BEV1 - 1 2	5.22	0.74	-0.52	0.11	0.02	0.27	0.16	2.6	0.2	0.0	1.6	0.7	0.37	0.02	0.00	0.10	0.04
BEV2 - 2 3	2.72	2.35	0.79	-0.64	-0.45	-0.10	-0.20	3.1	2.8	1.7	0.1	0.6	0.27	0.17	0.09	0.00	0.02
BEV3 - 3 4	0.48	17.79	2.17	1.01	1.66	0.45	0.41	4.2	1.3	4.1	0.4	0.4	0.27	0.06	0.16	0.01	0.01
CONTRIBUTION CUMULEE =								10.6	5.9	6.2	13.4	3.9					

MODALITES			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDEN - LIBELLE	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
12 . Code morphologique (pedo50)																	
CM1 - Pentes inf. 5%	0.94	8.65	1.86	0.58	0.92	0.32	0.00	6.0	0.8	2.4	0.4	0.0	0.40	0.04	0.10	0.01	0.00
CM2 - Pentes 5% 20%	1.22	6.43	0.41	-0.33	-0.67	0.06	0.15	0.4	0.3	1.6	0.0	0.1	0.03	0.02	0.07	0.00	0.00
CM3 - Idem + micro relief	0.50	17.24	0.27	0.25	-0.55	0.04	0.69	0.1	0.1	0.5	0.0	1.3	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03
CM4 - Pentes 20% 50%	1.96	3.63	0.09	-0.14	-0.66	0.05	0.35	0.0	0.1	2.6	0.0	1.3	0.00	0.01	0.12	0.00	0.03
CM5 - Pentes sup. 50%	1.34	5.80	-0.46	0.13	-0.02	0.08	0.68	0.5	0.1	0.0	0.0	3.2	0.04	0.00	0.00	0.00	0.08
CM6 - Zones non cartogr.	3.13	1.91	-0.63	-0.05	0.49	-0.19	-0.67	2.3	0.0	2.3	0.5	7.5	0.21	0.00	0.13	0.02	0.24
CONTRIBUTION CUMULEE =								9.3	1.4	9.4	0.9	13.3					
13 . Code pédo. 1/20000																	
50F - Sols fer. friables	4.71	0.93	0.28	-0.44	-0.22	0.05	0.31	0.7	2.3	0.7	0.1	2.3	0.08	0.21	0.05	0.00	0.10
50A - Alluvions cont.	0.39	22.38	2.38	1.05	1.78	0.55	0.43	4.1	1.1	3.7	0.5	0.4	0.25	0.05	0.14	0.01	0.01
50K - Sols fersial.	0.44	19.57	-0.36	1.78	-1.16	-1.67	2.04	0.1	3.6	1.8	5.1	9.7	0.01	0.16	0.07	0.14	0.21
50V - Vertisols	0.38	23.23	-0.36	2.68	-1.83	2.36	-1.09	0.1	6.9	3.8	8.7	2.4	0.01	0.31	0.14	0.24	0.05
50X - Zones non cartogr.	3.17	1.86	-0.61	-0.04	0.48	-0.19	-0.66	2.2	0.0	2.3	0.5	7.3	0.20	0.00	0.13	0.02	0.24
CONTRIBUTION CUMULEE =								7.1	13.8	12.3	14.9	22.1					
14 . Code lithologique																	
GE.I - Compl volc ant Mioc	5.60	0.62	-0.03	-0.55	-0.05	0.09	-0.06	0.0	4.3	0.0	0.2	0.1	0.00	0.49	0.00	0.01	0.00
GE.A - Alluvions cont.	1.02	7.93	1.67	0.53	0.83	0.14	0.15	5.2	0.7	2.1	0.1	0.1	0.35	0.04	0.09	0.00	0.00
GE.B - Brèches	1.11	7.16	-0.75	0.70	0.19	0.33	-0.07	1.2	1.4	0.1	0.5	0.0	0.08	0.07	0.00	0.02	0.00
GE.C - Coulées	1.02	7.87	-0.51	1.23	-0.54	-0.60	0.26	0.5	4.0	0.9	1.5	0.4	0.03	0.19	0.04	0.05	0.01
GE.P - Ponces et lapilli	0.34	26.00	-0.50	1.49	-0.64	-1.17	-0.07	0.2	1.9	0.4	1.9	0.0	0.01	0.09	0.02	0.05	0.00
CONTRIBUTION CUMULEE =								7.0	12.3	3.6	4.2	0.6					
15 . Types de végétation																	
VE15 - Forêt xero.	0.57	14.95	-0.31	2.51	-1.29	1.04	-0.36	0.1	9.1	2.9	2.6	0.4	0.01	0.42	0.11	0.07	0.01
VE18 - Forêt meso.	4.64	0.96	0.64	-0.05	-0.23	-0.39	-0.17	3.5	0.0	0.8	2.9	0.7	0.43	0.00	0.06	0.16	0.03
VE20 - For hygro inf dense	3.88	1.34	-0.72	-0.31	0.47	0.31	0.25	3.8	0.9	2.6	1.5	1.3	0.39	0.07	0.16	0.07	0.05
CONTRIBUTION CUMULEE =								7.4	10.1	6.2	7.0	2.3					
16 . Importance de la végétation naturelle																	
VN.A - Dominance cultures	0.76	10.99	2.08	0.63	1.28	0.18	0.23	6.0	0.8	3.8	0.1	0.2	0.39	0.04	0.15	0.00	0.00
VN.B - Boisements résiduels	2.20	3.13	0.78	-0.60	-0.60	-0.31	-0.56	2.5	2.0	2.4	0.9	3.6	0.19	0.12	0.11	0.03	0.10
VN.C - Cultures éparses	2.14	3.24	-0.61	1.25	-0.36	-0.67	0.01	1.5	8.6	0.8	4.0	0.0	0.11	0.48	0.04	0.14	0.00
VN.D - Form nat homogènes	3.99	1.28	-0.50	-0.46	0.28	0.50	0.26	1.8	2.2	0.9	4.1	1.4	0.19	0.17	0.06	0.19	0.05
CONTRIBUTION CUMULEE =								11.8	13.6	7.9	9.1	5.3					

MODALITES			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDEN - LIBELLE	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
17 . Pluviométrie moyenne inter-annuelle																	
1750 - inf 2000	0.34	25.50	-0.35	2.64	-1.70	2.39	-1.22	0.1	6.1	3.0	8.1	2.7	0.00	0.27	0.11	0.22	0.06
2250 - 2000-2500	1.13	7.02	1.12	0.99	0.20	0.02	0.42	2.6	2.8	0.1	0.0	1.1	0.18	0.14	0.01	0.00	0.03
2750 - 2500-3000	1.63	4.57	0.79	0.00	-0.29	-0.53	0.01	1.9	0.0	0.4	1.9	0.0	0.14	0.00	0.02	0.06	0.00
3250 - 3000-3500	1.33	5.86	0.39	-0.32	-0.53	-0.48	-0.45	0.4	0.4	1.1	1.3	1.4	0.03	0.02	0.05	0.04	0.03
3750 - 3500-4000	1.28	6.10	-0.22	-0.45	-0.30	-0.10	-0.17	0.1	0.7	0.3	0.1	0.2	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00
4250 - 4000-4500	1.26	6.21	-0.60	-0.45	0.11	0.35	0.57	0.8	0.7	0.0	0.6	2.1	0.06	0.03	0.00	0.02	0.05
4750 - 4500-5000	1.11	7.22	-0.75	-0.33	0.49	0.22	0.55	1.2	0.3	0.8	0.2	1.8	0.08	0.02	0.03	0.01	0.04
5250 - 5000-5500	0.64	13.23	-1.06	-0.09	1.10	0.08	-0.24	1.3	0.0	2.3	0.0	0.2	0.08	0.00	0.09	0.00	0.00
5750 - 5500-6000	0.37	23.47	-1.10	-0.06	1.43	0.16	-1.16	0.8	0.0	2.3	0.0	2.6	0.05	0.00	0.09	0.00	0.06
CONTRIBUTION CUMULEE =									9.2	10.9	10.6	12.3	12.1				