

CARACTERERISATION DES ZONES HOMOGENES POUR DES FINS DE MODELISATION HYDROLOGIQUE

(*) BERGAOUI ^{Med}.

() CAMUS H.**

RESUME

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de l'étude des problèmes d'érosion en Tunisie à travers un bassin versant expérimental de l'oued Ez-Zioud (Djebel Semmama-Tunisie Centrale). Vu les limites d'application offertes par le logiciel DEMIURGE, nous avons été amenés à extraire le bassin versant en question, et à déduire ses caractéristiques géomorphologiques et hydrométriques, à partir du modèle numérique de terrain du bassin versant qui le contient en l'occurrence celui de Oued El-Hissiane. Ainsi, nous avons pu obtenir par superposition des cartes de pentes et des indices de Beven, les zones hydrologiquement homogènes du bassin versant de l'oued Ez-Zioud.

L'extraction du bassin versant de l'oued Ez-Zioud (Dejebel Semmama - Tunisie Centrale) et la déduction de ses caractéristiques géomorphométriques et hydrométriques à partir du modèle numérique de terrain du bassin versant de l'oued El-Hissiane qui le contient, ont permis d'obtenir par superposition des cartes de pentes et des indices de Beven, les zones "grossièrement homogènes" du bassin versant de l'oued Ez-Zioud.

Mots clés : Topographie, Numérisation, Modèle, Homogène.

ABSTRACT

In first time, we try to calculate the Digital Elevation Model (DEM) of Hissiane watershed with application program DEMIURGE. Thus, we proved the possibility to make henceforth topographic carte numeration at large scale.

The extraction of Ez-Zioud wadi watershed and the deduction of geomorphometrics and hydrometrics characteristics of this watershed from Hissiane watershed DEM help us to obtain after superposition of slop carte and saturation degree carte, some "identical zones"

Key words : Topography, Digital, Modele, Homogene.

* Enseignant Chercheur.

** Directeur de Recherche ORSTOM Tunis.

Introduction

L'étude hydrologique d'un bassin versant ne disposant que de très peu d'informations, peut reposer essentiellement sur des procédés cartographiques. L'utilisation de ces derniers peut être considérée comme un indicateur permettant, par le croisement des facteurs explicatifs de l'écoulement de surface (pentes et sens d'écoulement), de définir un ensemble de zones hydrologiques homogènes au niveau des caractéristiques hydrologiques (pentes moyennes, altitudes, rugosité etc...). Il s'agit principalement de mieux tenir compte des propriétés physiques des bassins versants et des phénomènes de non linéarité. Dans ce but un concept géomorphologique des bassins versants doit être utilisé et amélioré.

Toutes les disciplines rattachées aux sciences de la terre connaissent de profonds bouleversements depuis que l'on dispose de puissants moyens de calcul appliqués aux données localisées. La détermination des caractéristiques géomorphométriques et physiques du bassin versant de l'oued Ez-Zioud (Djebel Semmama - TUNISIE Centrale) à partir du modèle numérique de terrain obtenu par DEMIURGE, nous aidera non seulement à quantifier certains paramètres physiques par unités susceptibles d'être homogènes et à expliquer le phénomène d'érosion hydrique qui est conditionné par le ruissellement de surface, mais aussi à extraire les cartes spécifiques :

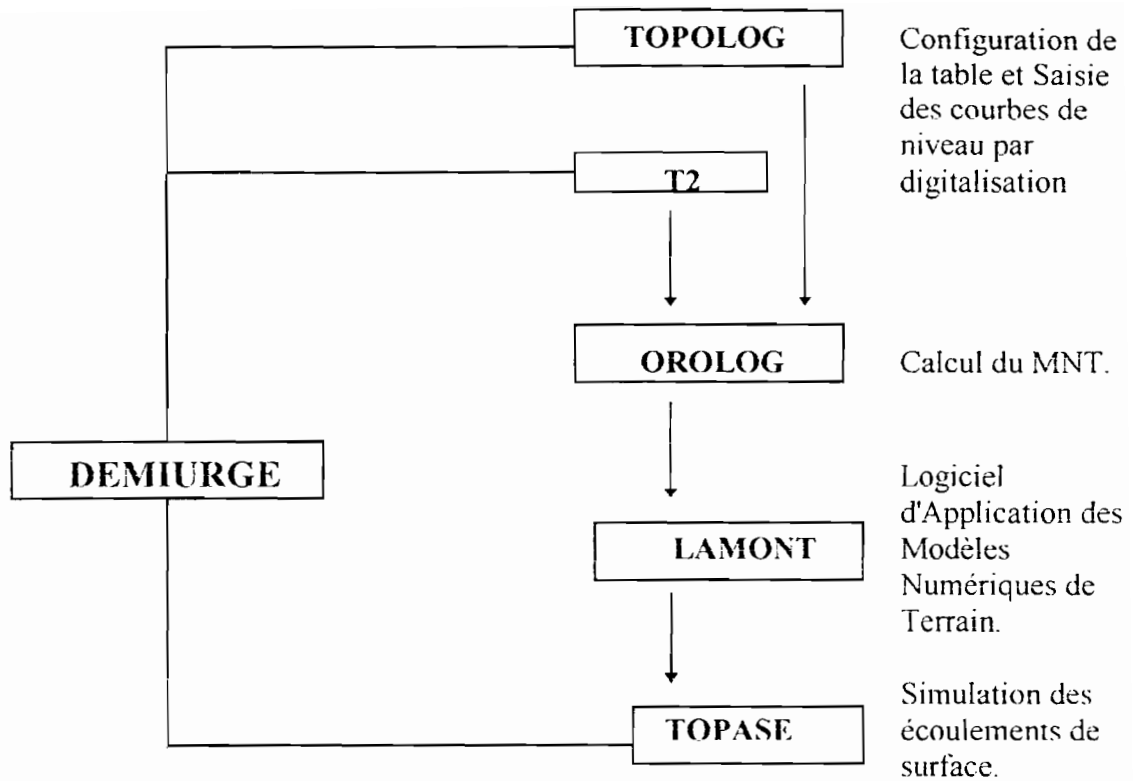
- de pentes (relief),
- du réseau hydrographique et ses dérivés,
- des indices de Beven ; pour ne citer que les principales.

La conjugaison des différentes classes de paramètres obtenues à partir de ces cartes va nous conduire à une carte qui, superposée à celles de la pédologie et de la végétation, permettra une délimitation des zones hydrologiquement homogènes.

Le but de ce travail est de fournir quelques éléments en vue d'arriver à une première approximation de la fragmentation du bassin versant de l'oued Ez-Zioud en zones hydrologiques pouvant être considérées comme similaires. Les résultats de cette étude permettront la constitution d'une banque de données qui pourra être utilisée pour une modélisation hydrologique à discrétisation spatiale (pluie - débit - transports solides) du dit bassin. Ce travail servira également de test aux limites des potentialités de DEMIURGE qui est un ensemble de logiciels didactiques à l'usage des chercheurs. De même, ce travail est réalisé dans le cadre de la validation des modèles numériques de terrain (MNT) calculés par DEMIURGE en faisant l'assemblage de plusieurs parties de la même carte.

1 - Les MNT de type DEMIURGE

DEMIURGE (Digital Model In URGEncy) est un logiciel, à plusieurs modules, de production et de traitement des MNT. Un logiciel de traitement d'image dédié à un type de données : le relief. Sa vocation n'est pas la cartographie automatique ni le système d'information géographique, mais plutôt un complément de la panoplie d'outils informatiques actuellement disponibles sur le marché. Ce logiciel étant publié aux éditions LOGROSTOM de l'ORSTOM [DEPARTERE C.1992], nous ne nous attacherons pas à en faire une présentation détaillée, mais nous essaierons de mettre l'accent sur les particularités des principales potentialités offertes par les logiciels qui le constituent et ceci à travers l'organigramme ci-après.



Organigramme des modules de DEMIURGE

Plusieurs travaux ont été réalisés sur les MNT de type DEMIURGE ([HYPERBAV 1990], [DEROUICHE A - 1994], [ONIBON H. - 1995]).

2 - Présentation du bassin versant de l'oued Ez-Zioud

Le bassin versant de l'oued Ez-Zioud, figure n°1, se trouve dans le Djebel Semmama en TUNISIE Centrale. D'une superficie de 7,74 Km². L'oued Ez-Zioud représente l'affluent rive gauche de l'oued El Hissiane. Plusieurs travaux ([CAMUS H. et al - 1987], [BARBERY J. et al - 1982]) résument les caractéristiques physiques, pédologiques, et autres de ce bassin.

Ce bassin versant expérimental fait l'objet d'une synthèse de données observées de 1974 à 1994 et du développement, au titre d'un objet de recherche d'un modèle distribué de type pluie débit transports solides.

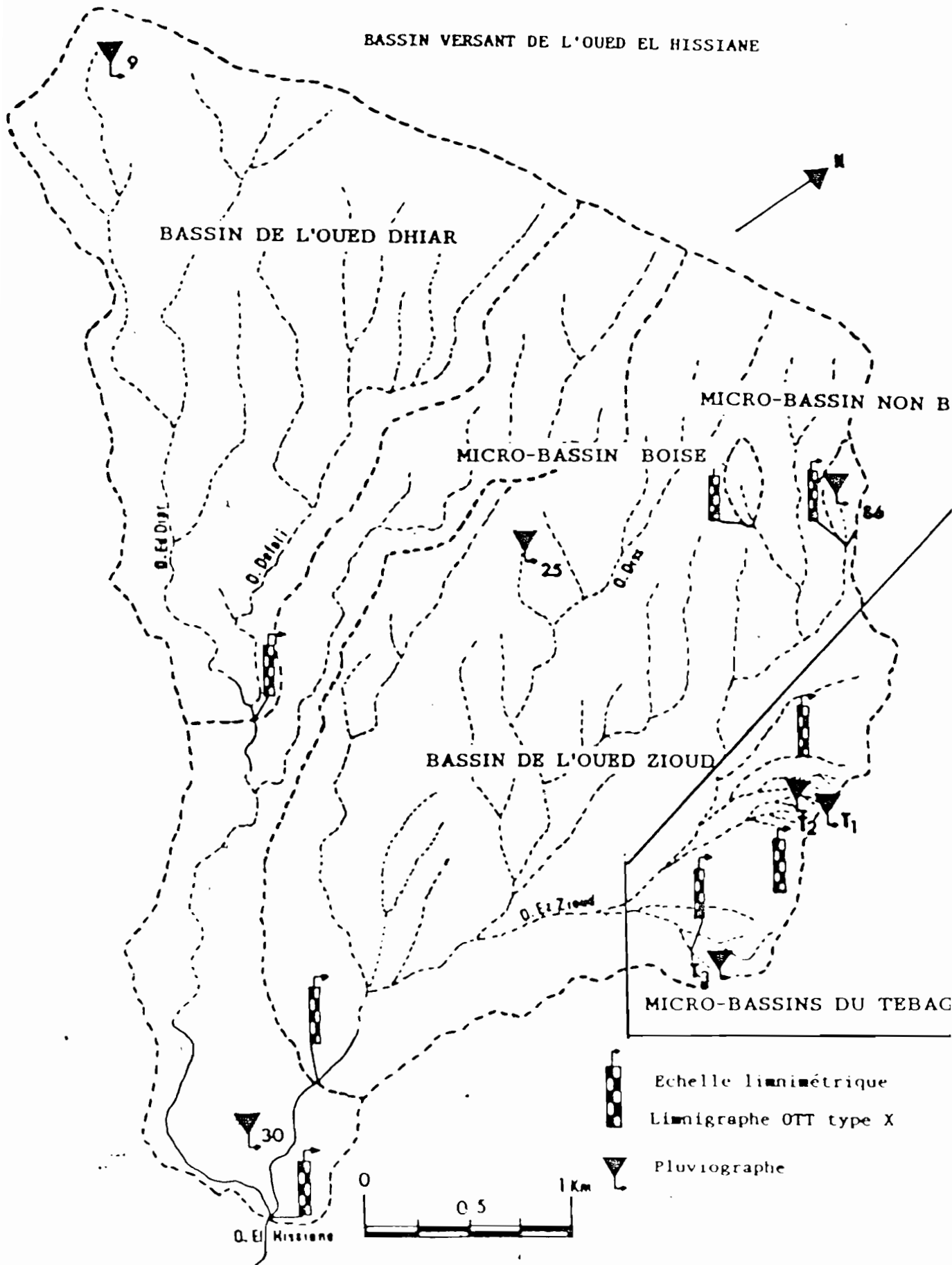


Fig. 1 - Le bassin versant de l'Oued EL HISSIANE

Tableau 2.1 : Caractéristiques physiques du bassin versant de l'oued Ez-Zioud.

Paramètres	Unités	Valeurs
Surface	Km ²	7,74
Périmètre	Km	12,3
Indice de compacité	Km	1,23
Longueur du rectangle équivalent	Km	4,32
Largeur de rectangle équivalent	Km	1,79
Altitude maximale	m	1250
Altitude minimale	m	772,5
Altitude moyenne	m	1011,2
Altitude circonscrite par 5% du bassin	m	1205
Altitude circonscrite par 95% du bassin	m	800
Dénivelée	m	225
Indice de pente globale	m/Km	59
Dénivelée spécifique	m	21,2
Indice de pente de roche	m	0,025

3 - Numérisation et calcul du MNT

Les bassins versants, bien que de petite taille, présentent de grandes hétérogénéités spatiales, au niveau des pentes, de la géologie, de l'occupation du sol et de transfert de l'eau sur le bassin. Pour tenir compte de cette hétérogénéité de manière simple, une description rigoureuse de la géomorphologie du bassin versant peut être envisagée. D'ailleurs plusieurs modèles de simulation de ruissellement couplés à la description géomorphologique du bassin versant ont été développés et adaptés, le modèle WASIIS développé par SINGII 1990 est un exemple parmi plusieurs autres modèles.

Les interpolations et extrapolations engendrées par le calcul des modèles numériques de terrain conduisent souvent à des limites de bassin versant différentes de la réalité (problème de géocode ouvert) [DEROUICHE A. 1994]; ce qui est à la base de modèles peu plausibles. C'est donc pour remédier à ces erreurs que nous sommes partis d'un fond topographique au 10000^{ème} du bassin versant de l'oued El Hissiane au coeur duquel se trouve le bassin versant de l'oued Ez-Zioud pour faire la numérisation. Cette stratégie nous sera très bénéfique dans la mesure où l'on pourra cerner les contours réels du bassin versant de l'oued Ez-Zioud qui seront par la suite extraites de l'ensemble pour le reste des opérations.

Au cours de l'assemblage et de calcul des MNT, plusieurs problèmes dont la liste mérite d'être exhaustive ont été rencontrés. Certes il serait intéressant de détailler les solutions qui ont été apportées à ces problèmes surtout que pratiquement, l'assemblage n'a jamais été réalisé. Mais ce sont des problèmes purement cartographiques et informatiques.

Après la réussite de l'assemblage avec DEMIURGE qui est un résultat très intéressant pour le grand objectif de notre travail, et la résolution des problèmes posés par les calculs des MNT [ONIBON II.1995], nous avons, en un premier temps, calculé les MNT des quatre feuilles prises séparément, et par la suite celui de la feuille assemblée c'est à dire le MNT du bassin versant de l'oued El Hissiane (figure 9).

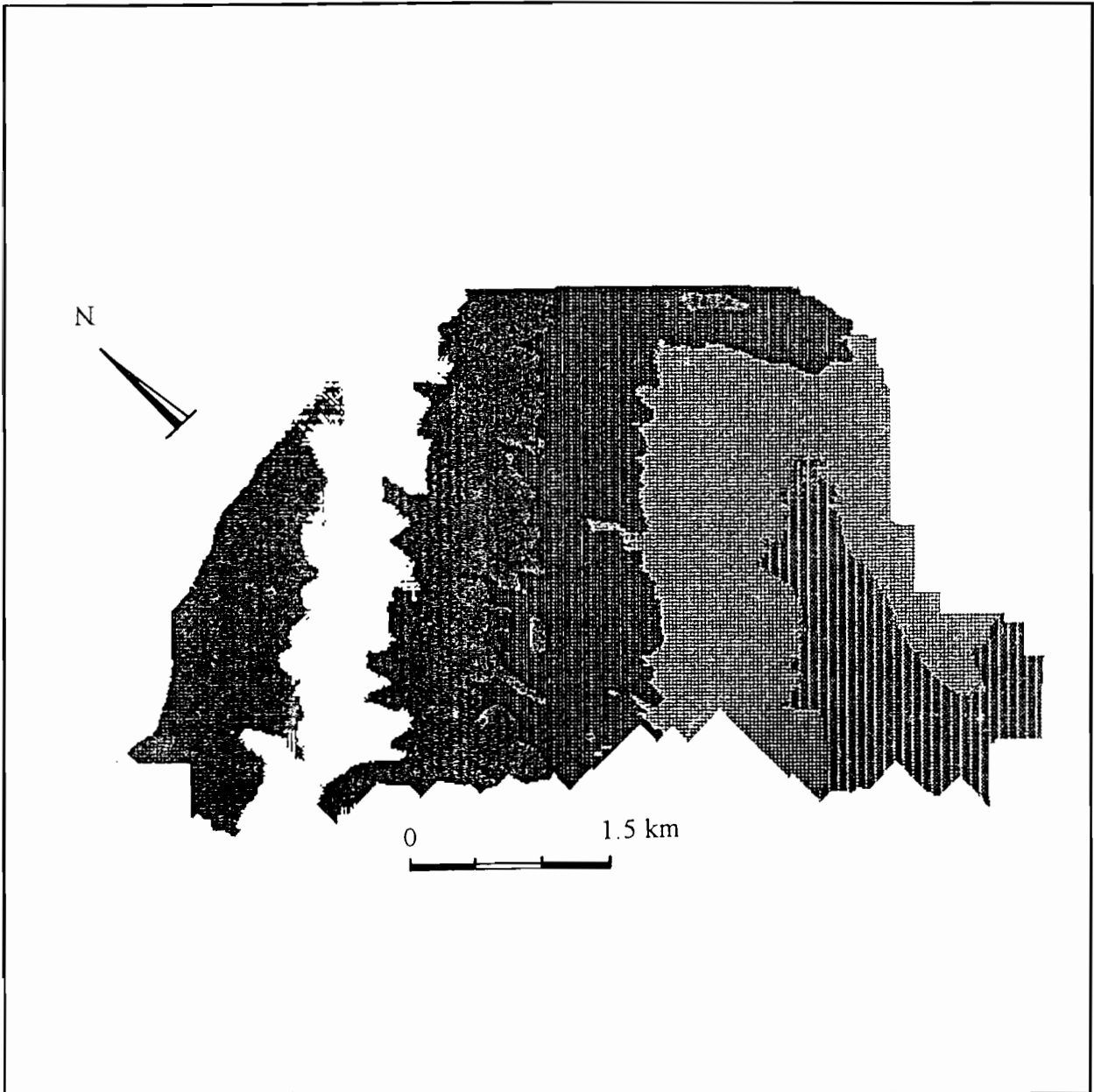


Figure 2: MNT du bassin versant de l'oued El Hissiane

4 - Etude du bassin versant de l'oued Ez-Zioud à partir du MNT calculé

Avant de se lancer dans cette étude, il faut d'abord extraire le bassin versant de l'oued Ez-Zioud de celui de l'oued El Hissiane. Pour ce fait, nous avons commencé par diviser le bassin d'El Hissiane en de sous bassins et on distingue (figure 3.1) l'ossature principale de Zioud qui occupe, à son extrémité Sud-Est, une partie d'El Hissiane ne lui appartenant pas. Pour essayer de comprendre cette anomalie, nous nous sommes évertués à calculer les surfaces drainées au niveau du bassin versant d'El Hissiane. Ainsi à travers la carte des surfaces drainées (figure 4.2) on a pu comprendre qu'il existe un lien étroit entre les talwegs principaux des deux bassins. Aussi, si on analyse un peu la partie Sud-Ouest de cette carte, on trouve une autre anomalie sur le réseau d'écoulement de l'oued El Dhiar qui forme avec l'oued Ez-Zioud l'oued El Hissiane. Cela est dû au fait que les courbes de niveau qui matérialisent le talweg principal de cet oued ne se forment pas sur la carte numérisée si bien qu'au cours du calcul des MNT, elles ont pris des directions non seulement différentes de la réalité, mais aussi loin d'être logiques. C'est l'une des erreurs qu'on a voulu éviter avec Zioud en partant d'Hissiane.

Pour cerner les véritables contours de Zioud nous avons procédé par des corrections interactives sur des mailles carrées de 12,5 m de côté (pas du MNT) et ceci, en allant contre la logique de l'écoulement suivant les courbes de niveau. Après la réussite de l'extraction, nous avons commencé l'étude géomorphométrique de Zioud. La carte des altitudes obtenue (figure 4.3) présente Zioud comme une plate-forme dont les altitudes divisées en six classes (tableau 4.1) varient sans ressaut ni cassure de 775 m à 1200 m. Nous avons poursuivi l'étude géomorphométrique en calculant les pentes (figure 4.3) qui ont été regroupées en cinq classes avec une forte représentativité des classes 0 - 5% et 5 - 15% (tableau 4.2). L'étude du lien entre ces deux paramètres permet de dire que dans leur variation, les pentes suivent les altitudes.

Tableau 4.1 : Classes d'altitudes

Couleurs	Classes en m	Surfaces en Km ²	Surfaces en %
Vert	775 - 854	2,914	18,8
Marron	855 - 919	4,588	29,6
Bleu	917 - 975	3,720	24
Rouge	956 - 975	2,246	14,5
Jaune	976 - 1037	1,193	7,7
Violet	1037 - 1200	0,837	5,4

Tableau 4.2 : Classes de pentes

Couleurs	Classes en %	Surfaces en Km ²	Surfaces en %
Vert	0 - 5	4,061	26,2
Jaune	5 - 15	9,703	62,6
Rouge	15 - 25	1,442	9,3
Bleu	25 - 35	0,279	1,8
Marron	35% et plus	0,155	0,1

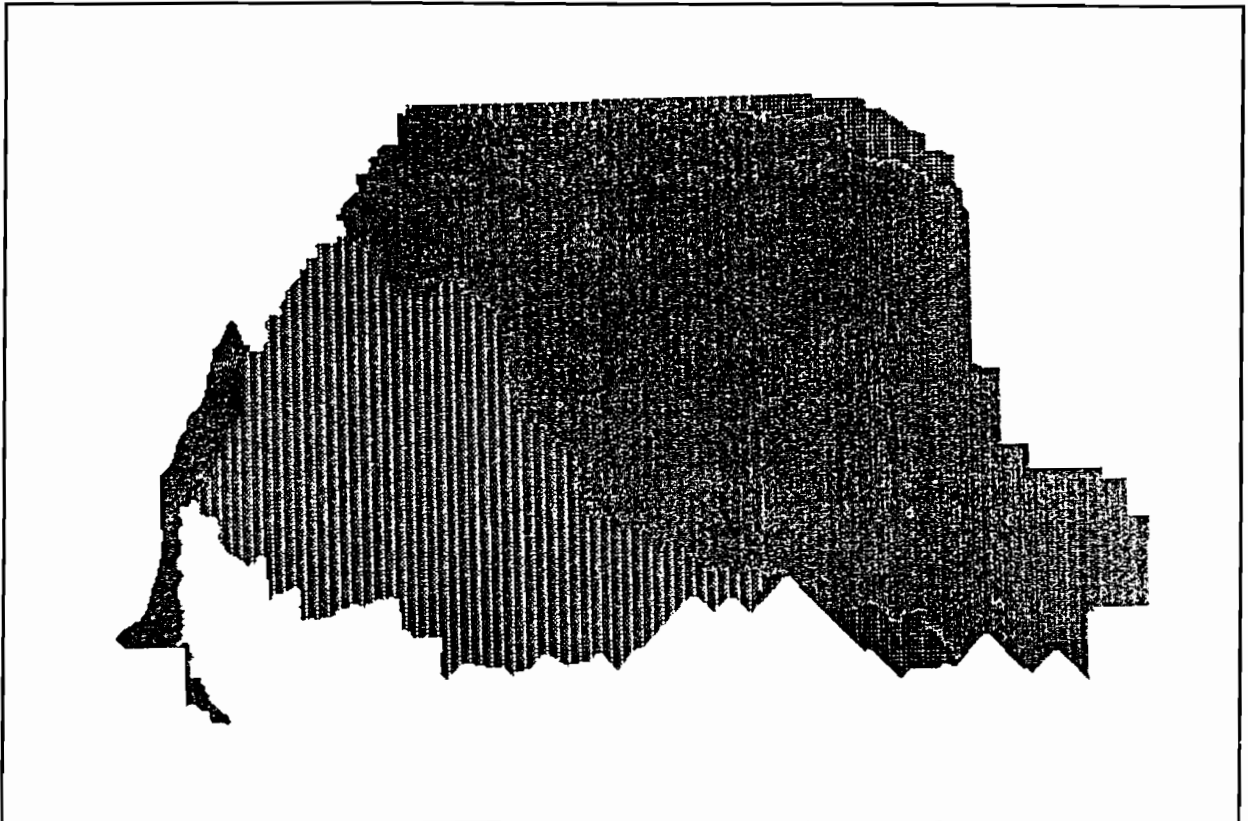


Figure 3.1: Sous bassins versants de Hissiane

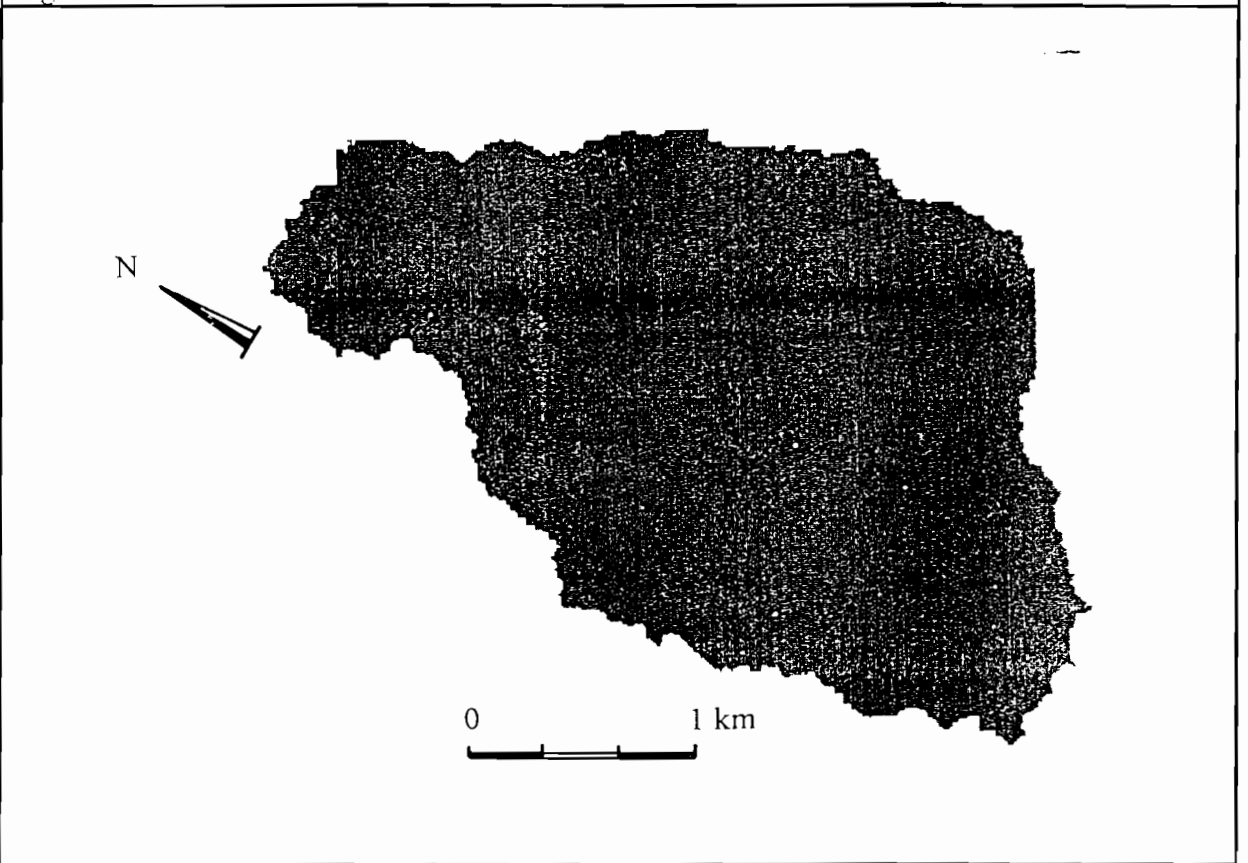


Figure 3.2: Bassin versant de l'oued Ez-Zioud

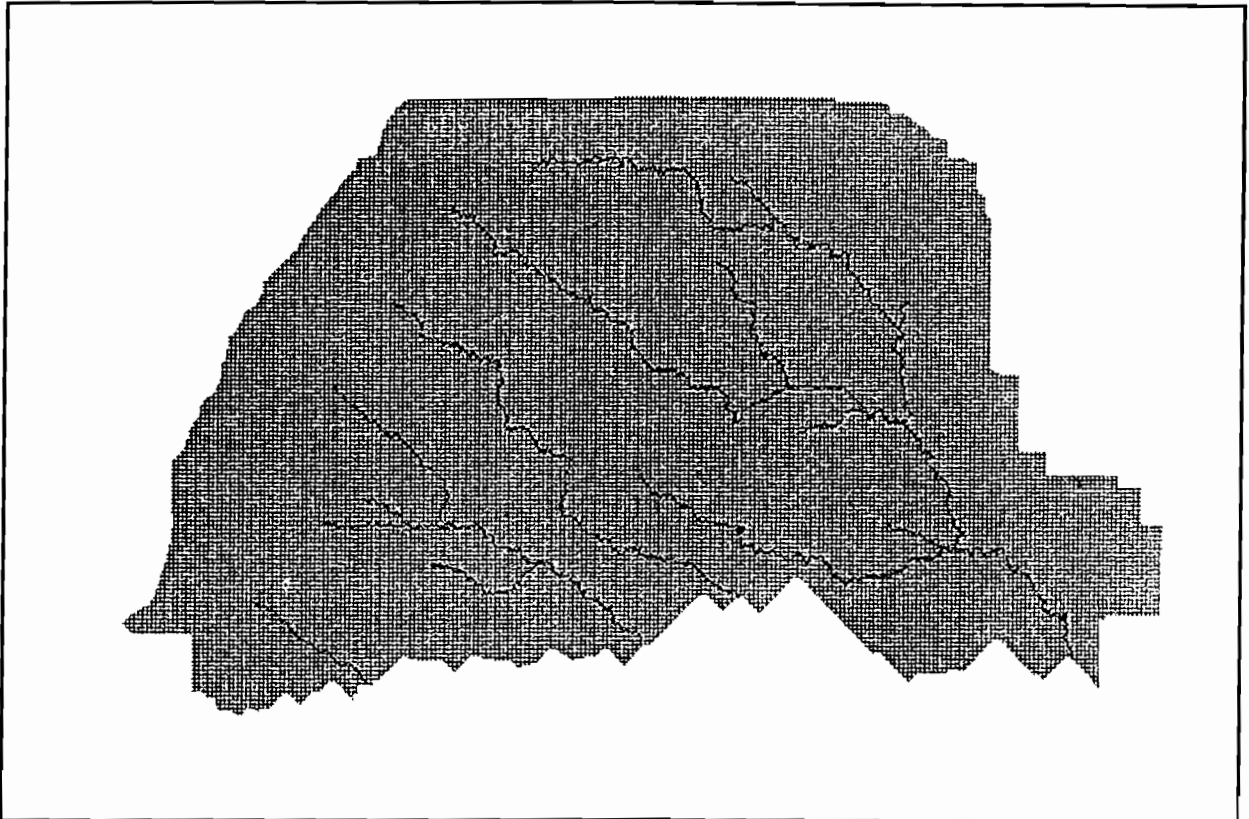


Figure 4.2 . : Surfaces drainées au niveau du bassin d'El Hissiane

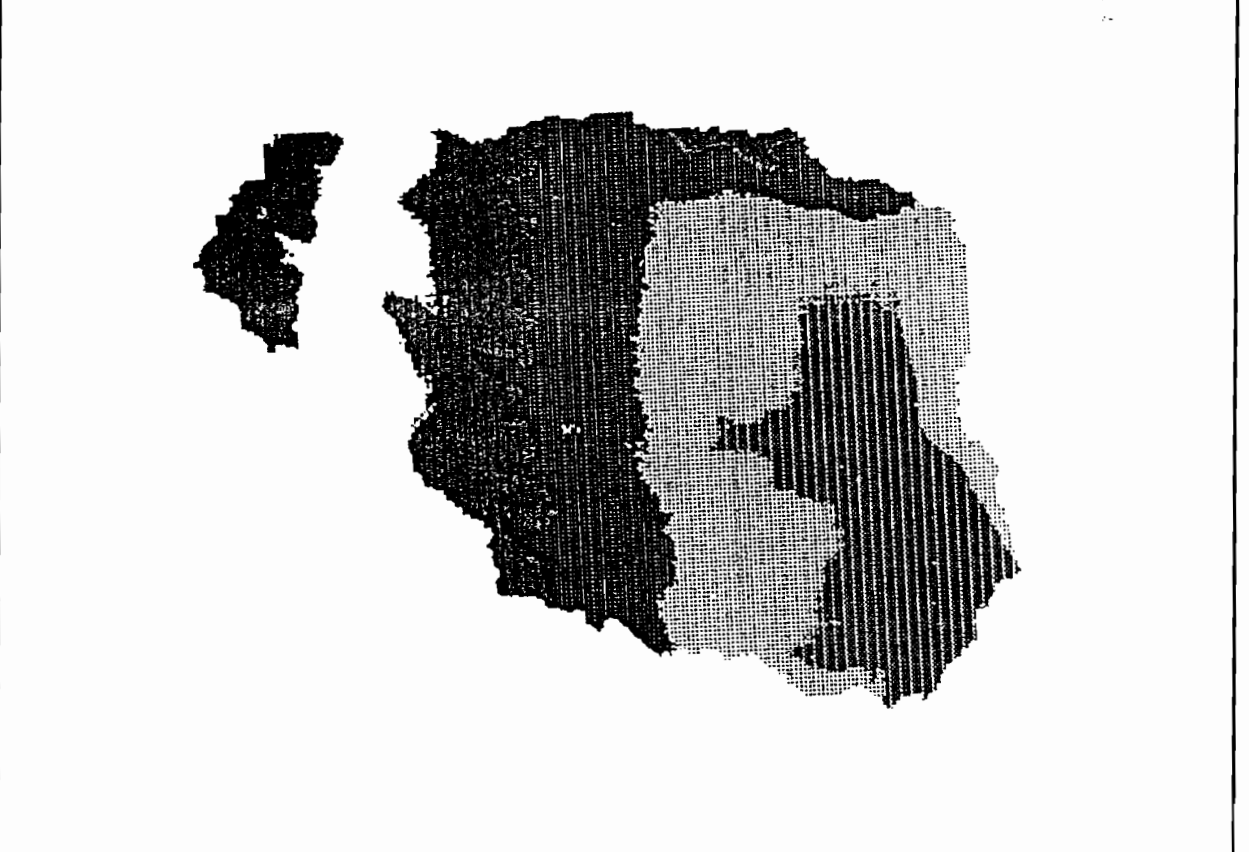


Figure 4.3: Carte des altitudes du bassin versant de l'oued Ez-Zioud

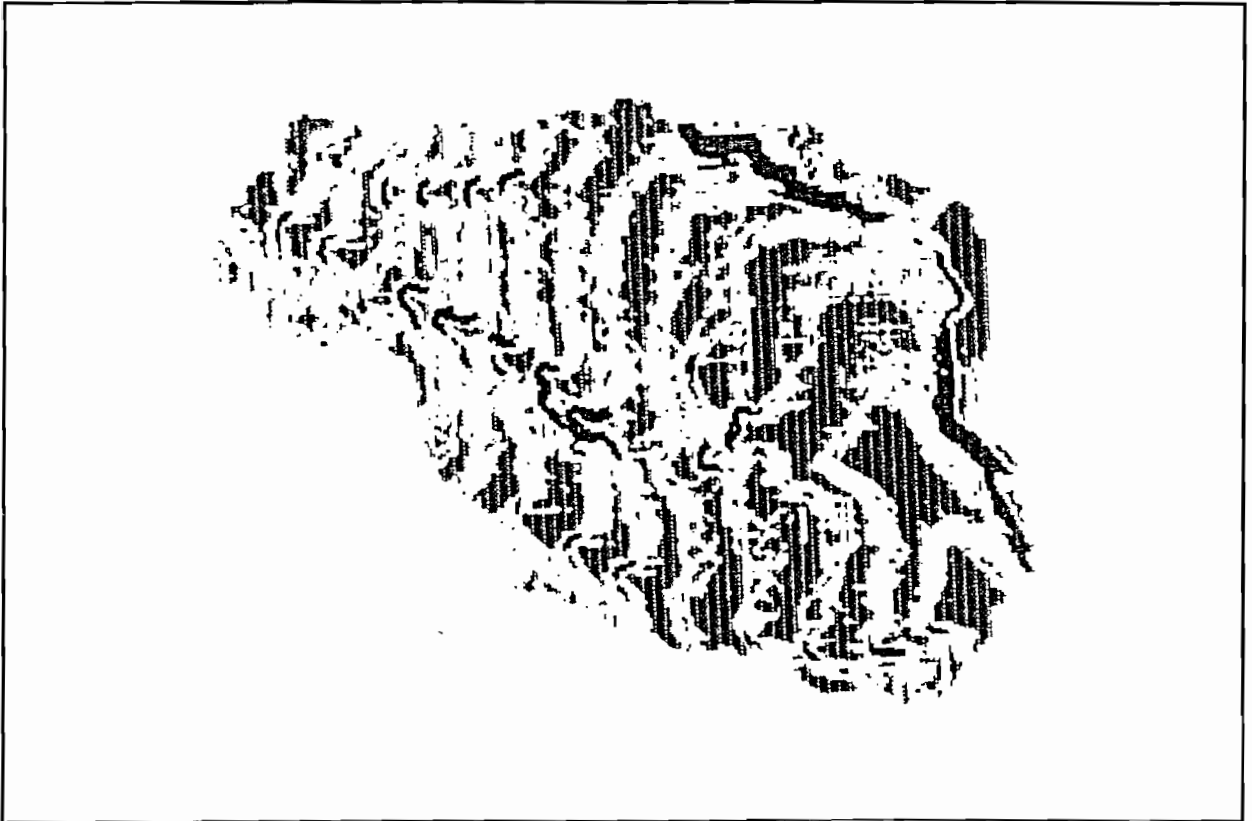


Figure 4.3bis: Carte des pentes

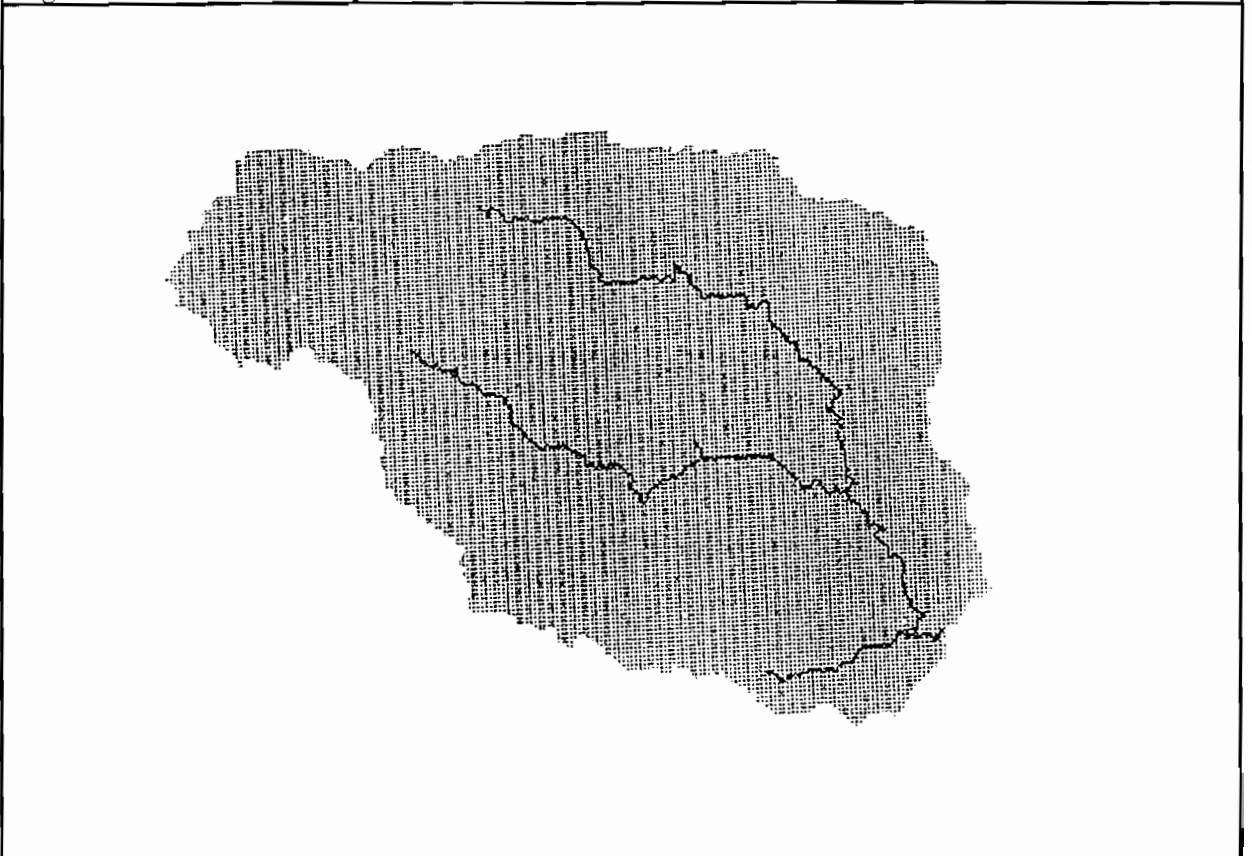


Figure 4.4: Réseau d'écoulement

Nous avons poursuivi l'étude géomorphométrique avec pour objectif la recherche du talweg principal en partant du réseau d'écoulement. Seulement, les deux branches issues de la bifurcation qu'on observe la figure 4A évoluent symétriquement vers l'amont ce qui ne nous permet pas de dire sans ambiguïté laquelle elle fait partie du talweg principal. Nous avons alors eu recours à TOPASE qui est en principe un logiciel de simulation des écoulements de surface mais qu'on a essayé d'utiliser à d'autres fins [ONIBON H. 1995]. Ainsi avec un seuillage assez poussé, nous avons étalé comme des nervures sur une feuille, le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Ez-Zioud qui nous a permis d'affirmer que c'est la branche est qui fait partie du talweg principal. Par suite, une étude de la corrélation entre le réseau hydrographique et la pente a révélé que la pente est une fonction linéaire des surfaces drainées.

L'étude a aussi concerné les indices de Beven qui permettent d'estimer en fonction de la morphologie du site, les risques de saturation. Pour éviter les erreurs introduites dans les résultats par les dépressions présentes sur le MNT, le fichier des altitudes a été lissé avec l'utilitaire de LAMONT LAM_LISS. Mais avant d'arriver à ce stade, nous avons dû réduire la taille du MNT car c'est une opération nécessitant non seulement une importante place en mémoire, mais elle n'est applicable qu'aux MNT de taille inférieure ou égale à 300 profils de 200 points chacun. Le tableau 4.3 résume la répartition des 5 classes d'indices de Beven représentées sur la figure 4.5 La détermination de cet indice nous aidera par la suite à quantifier en partie le ruissellement au niveau du bassin versant de l'oued Ez-Zioud. Les valeurs les plus fortes seront davantage propices à l'écoulement de surface (zone contributive) par rapport aux valeurs faibles. Un abaissement de cet indice stimule l'extension des zones saturées au cours d'une averse. A travers la carte de l'indice de Beven nous voyons que la saturation du sol est inversement proportionnelle à la pente. Ceci est tout à fait normal car plus la pente est forte, plus le ruissellement sera important, moins il y aura de l'eau stockée en surface. Ce paramètre pourra être pris en compte lors de la réalisation de certains travaux tels que les constructions des barrages, lacs colinéaires au niveau du bassin versant. Une étude approfondie des caractéristiques pédologiques du sol s'avère aussi nécessaire pour déterminer de façon plus convaincante l'indice de saturation du sol.

Tableau 4.3 : Classe des indices de Beven

Couleurs	Classes en m	Surfaces en Km ²	Surface en %
Bleu	-1541 à -682	0,977	6,3
Vert	-683 à 1097	7,393	47,7
Rouge	1098 à 2982	5,580	36,7
Jaune	2983 à 4650	1,023	6,6
Violet	4651 à 7764	0,403	2,6

5 - Zones homogènes

Les études précédemment réalisées vont nous permettre à partir de la superposition des différentes cartes de dégager des zones hydrologiques homogènes. Nous avons d'abord superposé les micros bassins versants au réseau hydrographique. Mais au niveau de quelques

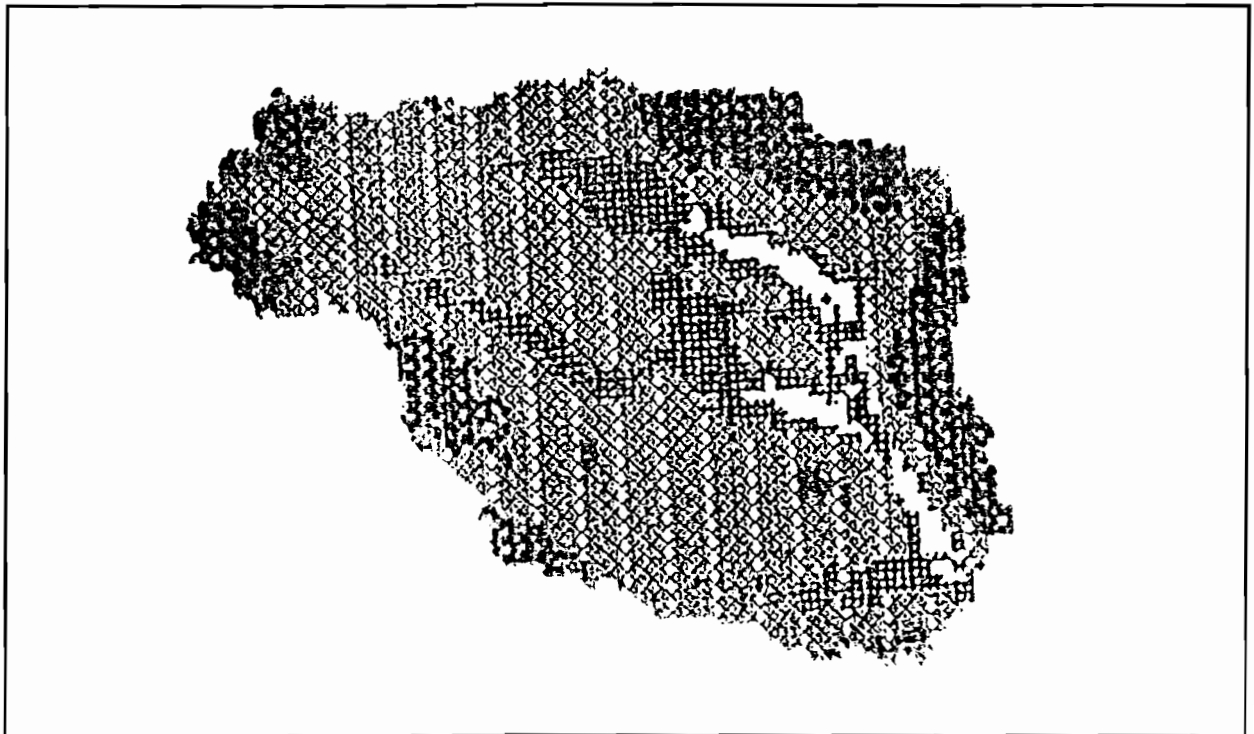


Figure 4.5 : Carte des indices de Beven

micros bassins (figure 5. .) il y a une anomalie due à la présence de deux exutoires. C'est l'une des limites de DEMIURGE. Nous avons alors décidé superposer les cartes des différents paramètres étudiés. Partant de la remarque que dans leur variation les pentes suivent les altitudes et qu'il en est de même pour les indices de Beven et le réseau hydrographique, nous avons trouvé judicieux de ne superposer que les cartes de pentes et des indices de Beven. Ceci nous a conduit à 13 types d'unités homogènes (figures 6. .) auxquelles il faudrait superposer les cartes de couvert végétal et de la pédologie. Rien qu'en superposant les 4 classes du couvert végétal à ces 13 zones, on se retrouvera avec environ 52 types de zones qui seraient non seulement difficiles à gérer, mais auraient des surfaces assimilables à celles d'une maille.

Autant commencer la modélisation. Or l'objet de notre étude ce n'est pas la modélisation, mais plutôt trouver les éléments nécessaires à une modélisation : c'est à dire une bonne discrétisation spatiale afin de définir des zones homogènes et avoir une idée plus claire sur la fonction de production d'une unité homogène et la fonction de transfert d'une maille à l'autre. Toute fois, nous avons un temps soit peu réfléchi sur le problème de la modélisation en particulier la modélisation à discrétisation spatiale. Ainsi Zioud a été divisé en des mailles de 200 m de côté qui superposées aux cartes de pentes, des courbes de niveau et du réseau hydrographique nous a aidé pour la détermination des sens d'écoulement par maille (figure 7.). Ceci sera d'une grande, utilité au (modélisateur) lors de la détermination de la fonction de transfert. Pour les mailles hétérogènes, nous suggérons à ce qu'elles soient divisées en des mailles homogènes. Plusieurs auteurs ont essayé de montrer l'importance de la discrétisation spatiale dans les problèmes de modélisation distribuée.

KIRKBY 1976 a montré l'importance de la topologie du réseau hydrographique sur l'écoulement de surface. La description géomorphologique de représenter le bassin versant par un ensemble de cascades, réservoirs, aidera le modélisateur dans sa fonction de transfert.

D'après LAGLAINE V. et al. 1993 deux modèles ont été proposées avec comme atout commun la prise en compte de la description géomorphologique du bassin versant. Ce sont les modèles WASHS « watershed Simulation modèle » utilisant l'hydrogramme unitaire géomorphologique (GUH) et le modèle de cascades non linéaire géomorphologique GNC. Les deux sont adaptés à la modélisation de crues extrêmes sur de petits bassins versants et la description géomorphologique du bassin versant qui permet de déterminer l'apport relatif des différentes unités homogènes.

Conclusion

" L'hydrologue travaille un peu à la manière du biologiste qui chaque fois qu'il souhaite affiner ses recherches augmente le grossissement de son microscope ". Cette phrase de J-F NOUVELLOT dans son ouvrage : " Guide des pratiques hydrologiques sur les petits bassins versants ruraux en Afrique Tropicale et Equatoriale " doit être notre leitmotiv ; d'autant plus que nous sommes conscients de l'impact que peut avoir une erreur d'un millimètre sur les résultats d'un MNT obtenu par numérotation d'une carte topographique à petite échelle. Pour ce fait, la réussite du calcul des modèles numériques de terrain à partir d'une carte topographique à grande échelle et ceci par la méthode d'assemblage des feuilles doit être considérée comme le premier acquis de nos travaux. Cette expérience est très capitale car il semblerait à notre connaissance qu'elle n'a jamais été réalisée.

L'idée de partir du bassin versant de l'oued Hissiane pour extraire celui de l'oued Ez-Zioud nous a permis de cerner les véritables contours de ce dernier.

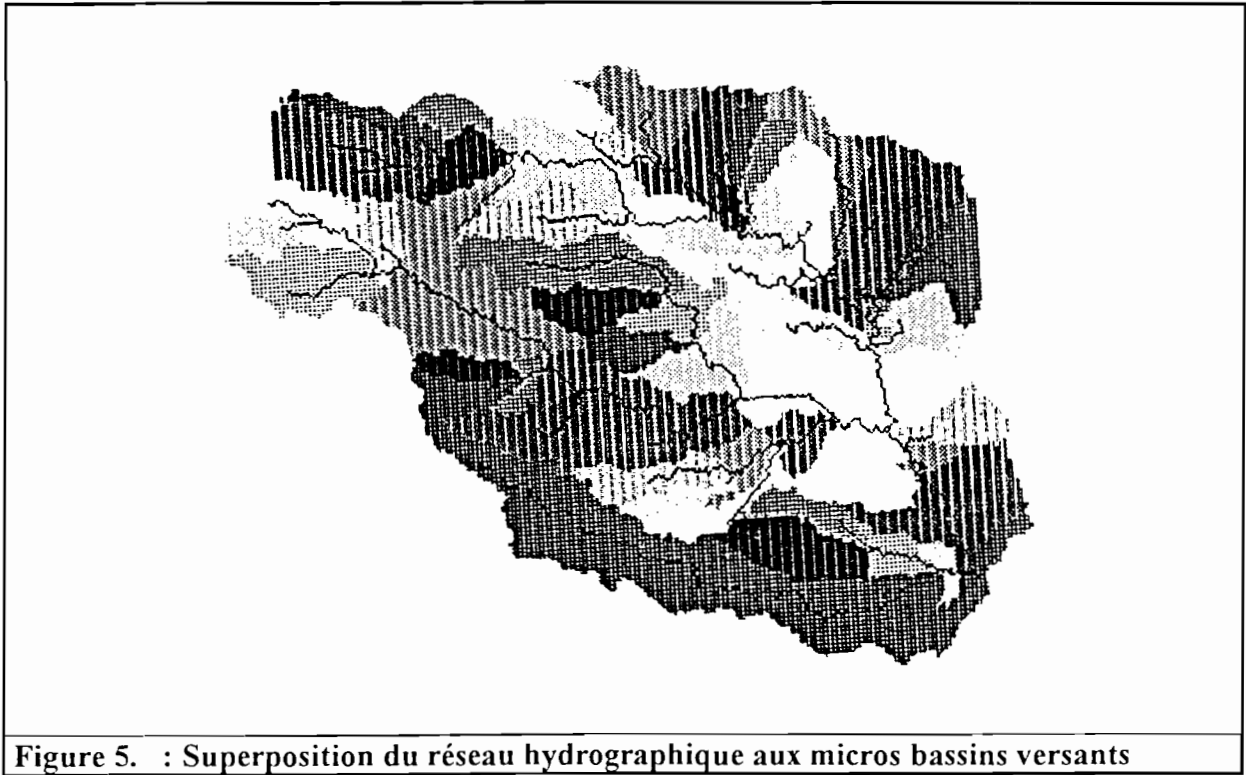


Figure 5. : Superposition du réseau hydrographique aux micros bassins versants

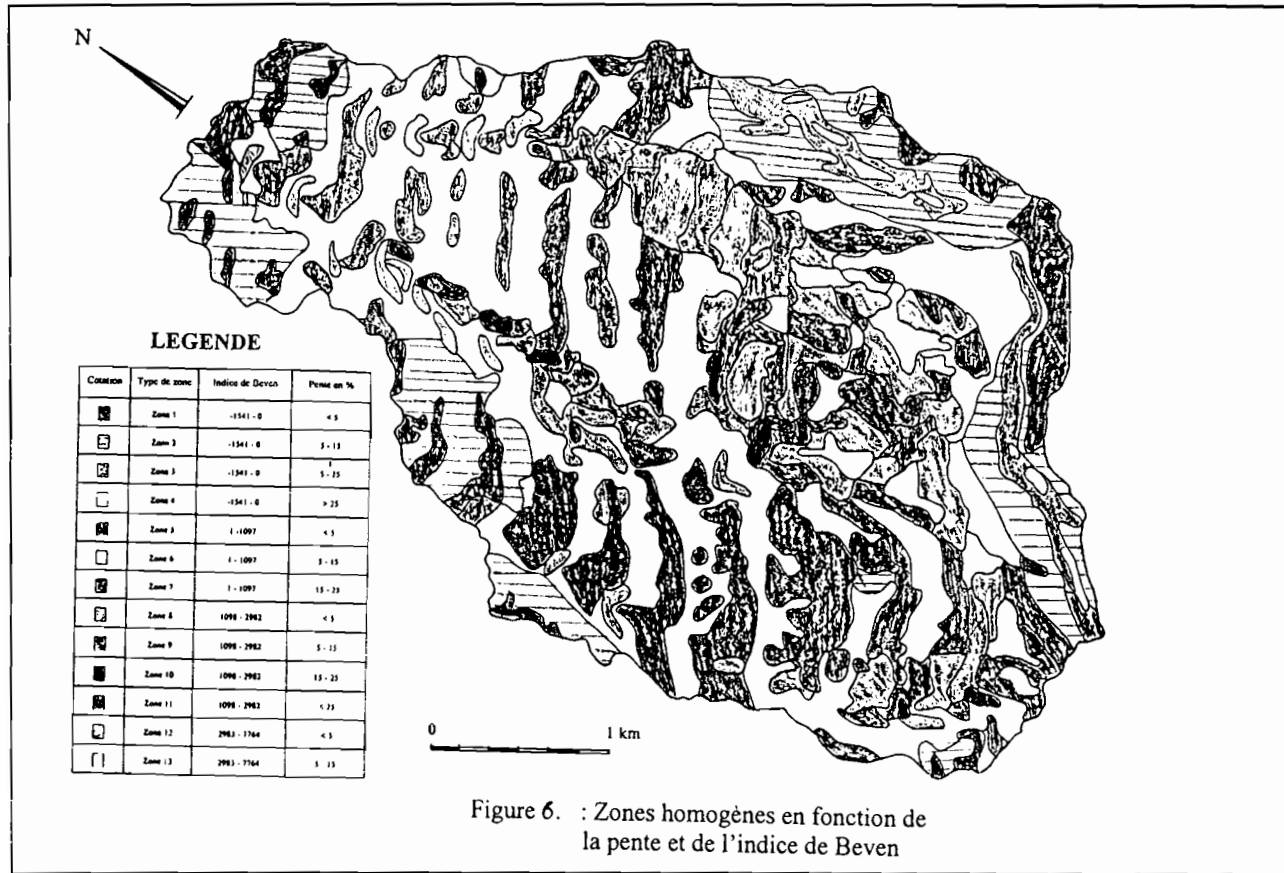


Figure 6. : Zones homogènes en fonction de la pente et de l'indice de Beven

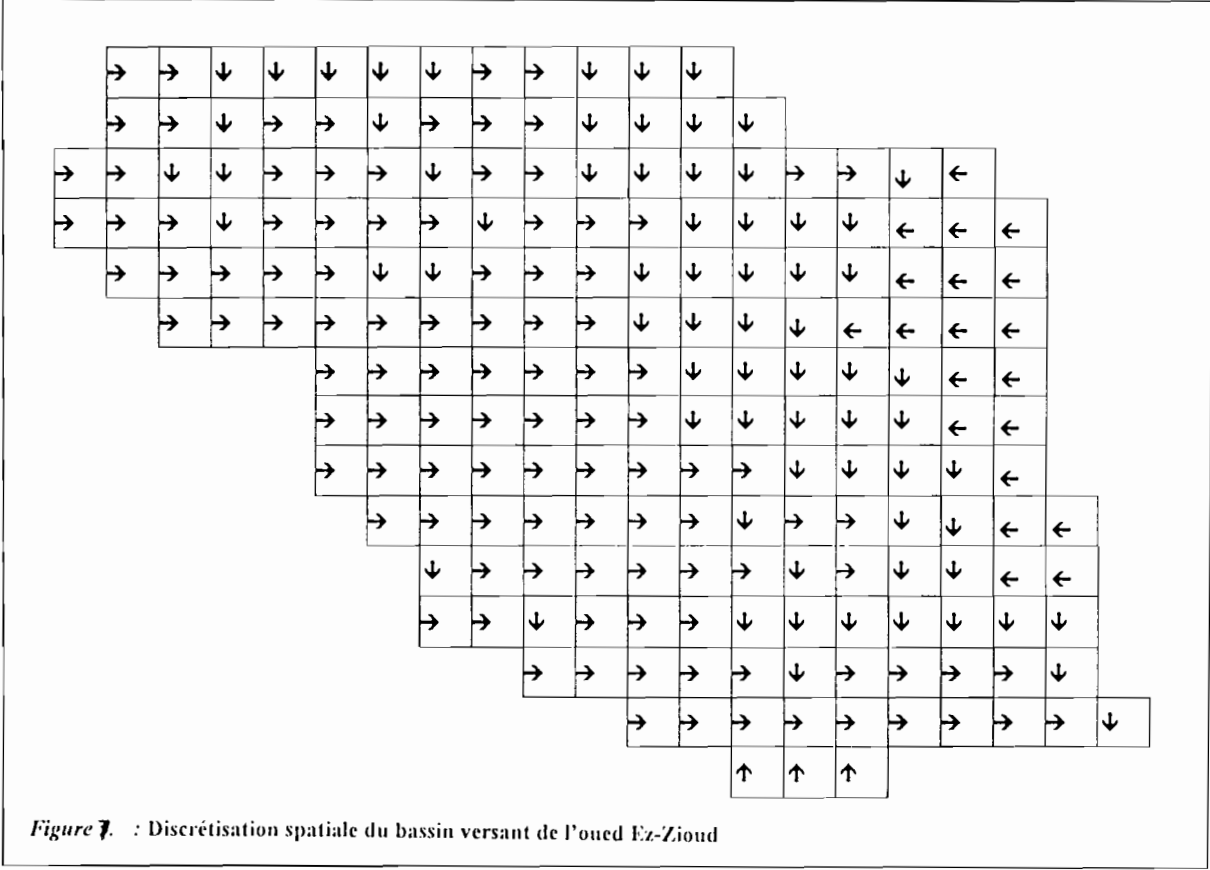


Figure 7 : Discretisation spatiale du bassin versant de l'oued Ez-Zioud

L'évaluation de partir des chaînes DEMIURGE des paramètres morphométriques et hydrométriques intervenant dans le comportement hydrologique du bassin versant de l'oued Ez-Zioud nous a permis d'obtenir les cartes de pentes, d'altitudes, du réseau hydrographique, des indices de Beven. L'étude qualitative de ces paramètres nous permet de dire qu'ils ont non seulement un rôle très complexe, mais aussi que leurs actions s'interfèrent et ne sont pas indépendantes et que l'organisation des mécanismes de l'écoulement se fait selon un schéma intimement lié à la morphologie.

Pour atteindre le véritable objectif visé, la carte des zones " dites homogènes " doit être superposée à celle de la pédologie et du couvert végétal. Les difficultés rencontrées lors des superpositions et l'intervalle des différentes classes de paramètres nous permettent d'affirmer qu'il serait absurde de dire sans ambiguïté qu'une zone est homogène. D'où l'usage de l'expression zones " dites " ou " sensiblement " homogènes s'avère plus adéquat.

Si nous ne sommes pas parvenus à déterminer en intégralité ces zones " dites "homogènes, il convient de souligner que le complément logique qu'il faudrait apporter à ce travail pour une bonne interprétation voire la compréhension du comportement hydrologique du bassin reste l'application de modèles mathématiques aux observations et expérimentations hydrologiques.

La signification physique des paramètres, leur lien avec des caractéristiques du bassin versant et un sujet de préoccupation essentiel pour la modélisation hydrologique.

Enfin, nous tenons à souligner que malgré tous ses mérites et sa remarquable contribution à l'étude des modèles numériques de terrain, DEMIURGE a toujours des limites d'application. L'exemple le plus frappant dans ce travail est l'extraction des sous bassins à partir du réseau hydrographique. Bien qu'il constitue un outil très puissant d'analyse, l'informatique ne peut suffire à lui seul pour résoudre tous les problèmes d'aménagement. Il faudrait des démarches complémentaires s'appuyant sur la réalité du terrain.

BIBLIOGRAPHIE

BARBERY Jean et DELHOUME Jean Pierre ; ORSTOM 1982 : Etude en milieu méditerranéen.

CAMUS H, DUMAS R, BEN YOUNES M ; ORSTOM Janvier 1987 : Analyse de l'écoulement sur le bassin versant de l'oued El Hissiane.

CAMUS H, DUMAS R, BEN YOUNES M : Recherche en milieu méditerranéen semi-aride (Djebel SEMMAMA). Rapport des campagnes 1974 - 75, 1975 - 76 et 1976 - 77.

CHEVALIER P., CLAUDE J., POUYAUD B, BERNARD A. : Hydrologie de la mare d'Oursi (Burkina-Faso) 1976-1981. Pluies et crues au Sahel.

DEPARTERE C. : Chaîne de production et de traitement des modèles numériques de terrain : DEMIURGE 2,0.

DEPARTERE C. : Chaîne de production et de traitement des modèles numériques de terrain : DEMIURGE 2,3. Module de numérisation T2 version 1,2

DEPARTERE C. : Chaîne de production et de traitement des modèles numériques de terrain : DEMIURGE. Module de simulation : TOPASE version 1,0

DEPARTERE C. : Notre introductive aux sessions de formation à l'utilisation de la chaîne de production et de traitement DEMIURGE . CNRE/ORSTOM Antananarivo mars 1983.

HYPERBAV (Equipe de l'ORSTOM) : Structure et fonctionnement hydropédologique d'un bassin versant en savane humide. Collection Etudes et Thèses de l'ORSTOM

KIRKBY M.J. 1976 test of the random network model and its application to basin hydrology - Earth surface Process 1,197 - 252.

LAGLAINE V., BEROD D., MUSY A. 1993 deterministic extrem flood modelling of a mountainous catchment with use of a geomorphologic description of the channel network.

NOUVELOT J-F : Guide des pratiques hydrologiques sur les petits bassins versants ruraux en Afrique tropical et équatoriale.

ONIBON H. : Caractérisation des zones homogènes du bassin versant de l'oued Ez-Zioud à des fins de modélisation hydrologique (ESIER/ORSTOM 1995)

SINGH V.P. 1989. A quasi conceptual linear with potential. Application to ungaged basins. Military hydrology. Report 17, U S Army corps of Engineers.