

*Republique Tunisienne
Ministère de l'Agriculture*

-----oOo-----

*Ecole Supérieure d'Ingénieurs en Equipement Rural (ESIER)
de Medjez el bab C.P 9070*

-----oOo-----

Rapport de stage d'été

Thème:

*Elaboration et traitement du Modèle Numérique
du Terrain (MNT) de l'oued MERGUELLIL.*

Spécialité: Hydraulique & Aménagement

Elaboré par: KINGUMBI Ahmadi

Année universitaire: 1996/1997.

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidé dans notre stage et pour la réalisation de ce rapport. Nous pensons, pour cela à tout le personnel de l'ORSTOM, pour sa disponibilité tout le long du stage, et plus particulièrement à Monsieur BOURGE qui nous a donné un encadrement remarquable et pour ses conseils et remarques très opportuns. Nous pensons aussi à Monsieur Eric, Hassen, BEN YOUNES et tous les autres qui nous ont donné leur coup de main.

Nos remerciements et non des moindres, vont au personnel de l'IRESA pour sa sollicitude à notre égard, et particulièrement au responsable du centre de calculs.

Nous ne pouvons terminer sans rendre un grand hommage à nos enseignants qui n'ont cessé de fournir aucun effort pour le bon déroulement de notre stage. Il s'agit de Monsieur MAHJOUB et monsieur BERGAOUI qui nous ont donné leur ferme soutien.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I- PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE MERGUELLIL

Introduction.....	2
A) Situation géographique.....	3
B)Description du bassin versant.....	4
1)Généralités sur le bassin versant de Merguellil.....	4
2)Les sous bassins versant (SBV) de Merguellil.....	4
3)La morphologie de sous bassins de l'oued Merguellil.....	6
4)Les caractéristiques morphologiques du bassin étudié.....	7
C)Le couvert végétal du bassin versant de Merguellil.....	11
D)Les sols du bassin versant de Merguellil.....	12
E)La géologie et la géomorphologie de Merguellil.....	13
Conclusion.....	14

CHAPITRE II- GENERALITES SUR LES MODELES NUMERIQUES DU TERRAIN

A)Définitions.....	15
B)Présentation de DEMIURGE.....	16
1)T2 ou Topolog.....	16
2)Orolog.....	16
3)Lamont.....	17
a)Les fichiers dérivés du MNT.....	17
• fichiers géomorphométriques.....	17

• <i>fichiers géomorphologiques</i>	19
• <i>fichiers hydrologiques</i>	19
• <i>fichiers hydrométriques</i>	20
<i>b) Les Diagrammes bidimensionnels</i>	21
4) <i>Topase</i>	21

CHAPITRE III- CALCUL DE MNT DU BASSIN VERSANT DE MERGUELLIL

Introduction.....	22
A) <i>La numérisation de la planche de courbes de niveau</i>	22
B) <i>Le traitement de courbes de niveau numérisées</i>	23
C) <i>Interpolation des altitudes ou calcul du MNT</i>	23
1) <i>Aperçu sur les principales méthodes d'interpolation</i>	23
<i>a) Méthodes d'interpolation à partir de semis de points</i>	23
<i>b) Méthodes d'interpolation à partir de courbes de niveau</i>	24
2) <i>La méthode d'interpolation utilisée dans DEMIURGE</i>	24
<i>a) Calcul des altitudes à partir des axes</i>	25
<i>b) Calcul des altitudes avec la morphologie</i>	25
3) <i>Les étapes et paramètres utilisés pour le calcul du MNT</i>	26
<i>a) Les étapes de calcul du MNT</i>	26
<i>b) Paramètres de calcul du MNT</i>	27

CHAPITRE IV- APPLICATIONS DE MNT DU BASSIN DE MERGUELLIL

A) <i>Les fichiers géomorphométriques du bassin de Merguellil</i>	32
1) <i>Le fichier d'altitudes</i>	32
2) <i>Le fichier de pentes</i>	34
3) <i>Le fichier des expositions</i>	34
4) <i>Le fichier des encaissements</i>	37
B) <i>Les fichiers géomorphologiques du bassin de Merguellil</i>	39

C) Les fichiers hydrologiques du bassin de Merguellil.....	41
1) Le fichier de drainage.....	41
2) Le fichier de bassins versant.....	41
D) Les fichiers hydrométriques du bassin de Merguellil.....	43
1) Le fichier des distances à l'exutoire.....	43
2) Le fichier de la longueur de drain.....	43
E) Les fichiers des indices de Beven.....	45

CHAPITRE V- SIMULATION DES ECOULEMENTS DE MERGUELLIL

A) La loi des pentes.....	46
B) La loi de structure du réseau hydrographique.....	47
C) L'hydrogramme simulé.....	47

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

INTRODUCTION GENERALE

En vue de rendre notre formation la plus complète possible, nous avons effectué, à la fin de la deuxième année de la spécialité « Hydraulique et Aménagement », un stage ouvrier à l'Institut de Recherche Scientifique Appliquée (IRESA) en collaboration avec l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM).

L'objet de ce stage consiste en l'élaboration et l'exploitation d'un modèle numérique du terrain d'une région à partir de courbes de niveau numérisées. Un modèle numérique du terrain (MNT) est un ensemble de données d'altitudes sous la forme numérique. Ces altitudes sont connues en un certain nombre de points d'une grille régulière.

Au cours de l'étude nous essayerons, d'abord, d'élaborer le MNT en utilisant la chaîne de production et de traitement des modèles numériques du terrain DEMIURGE. Ensuite nous procéderons à l'exploitation pour des fins surtout hydrologiques de ce modèle élaboré, et ce par le même outil informatique cité ci-haut.

Le MNT que nous aurons à élaborer concerne le bassin versant de l'oued Merguellil. Ce dernier est l'un des plus importants et des plus redoutables oueds qui drainent la Tunisie centrale. La connaissance de son hydrologie s'avère donc capitale pour cette région de la Tunisie.

Les étapes que nous aurons à suivre dans ce travail sont les suivantes: Premièrement nous effectuerons une présentation sommaire du bassin versant de Merguellil. Cette présentation concernera aussi bien l'hydrologie que le relief, la nature des sols et le couvert végétal du bassin versant de l'oued Merguellil.

Deuxièmement nous présenterons la chaîne DEMIURGE de production et de traitement des MNT que nous utiliserons dans cette étude.

Troisièmement nous calculerons le MNT du bassin versant de Merguellil après avoir déterminé les paramètres de calcul qui lui conviennent.

Quatrièmement et en dernier lieu, nous exploiterons ce MNT en vue d'en déduire les formes de relief et l'hydrologie du bassin versant drainé par l'oued Merguellil. En ce qui concerne l'hydrologie, nous délimiterons le bassin versant de cet oued et effectuerons ensuite la simulation des écoulements sur ce dernier pour mettre en évidence le réseau hydrographique.

CHAPITRE I- PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED MERGUELLIL

INTRODUCTION

L'oued MERGUELLIL, comme son voisin ZEROUD, est connu dans toute la Tunisie pour la violence redoutable de ses crues depuis fort longtemps. Les habitants de la Tunisie centrale (surtout ceux de la ville de KAIROUAN située à l'aval) le connaissent particulièrement, parce qu'ils ont eu à faire à ses crues.

L'oued MERGUELLIL est aussi connu par la rareté de ses ressources en eaux pérennes, étant donné qu'il se trouve dans une région semi-désertique.

Le régime hydrologique de cet oued a retenu l'attention des responsables d'aménagements et d'équipements, puisque tout projet de ce genre est soumis aux aléas de ressources en eaux qui sont, rappelons-le, rares et non périodiques dans cette région. Beaucoup d'études ont été effectuées, de ce fait, pour obtenir les renseignements fiables sur l'hydrologie de cet oued et de ses voisins qui drainent la Tunisie centrale.

En vue de l'utilisation bénéfique des ressources en eaux surtout des crues de cet oued, plusieurs lacs et barrages ont été érigés sur ce cours d'eau. Le plus important de ces derniers est le barrage d'EL HABIB connu sous le nom d'EL HAOUAREB. Il se trouve à l'amont de la plaine de KAIROUAN et sert principalement de protection contre les inondations que peuvent occasionner les crues de cet oued dans la ville de KAIROUAN. Cependant les eaux de ce barrage sont aussi utilisées actuellement dans les périmètres environnants en vue de la production agricole.

A) SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le bassin versant de l'oued MERGUELLIL délimité à partir du barrage d'EL HABIB se situe dans deux gouvernorats de la Tunisie centrale: le gouvernorat de SILIANA et celui de KAIROUAN qui comprend la plus grande partie du bassin. Il est compris:

- entre les parallèles: $35^{\circ}15'$ et 36° Nord,
- entre les méridiens: 9° et 10° Est.

Le document cartographié utilisé pour ce travail est une carte au 1/200000 de MAKTHAR, publiée en 1987 et établie à partir de la couverture (photo) aérienne 1985, restituée en 1986 et complétée en 1987. La carte est repérée en degrés, l'origine des longitudes étant le méridien international.

B) DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT

1) GENERALITES SUR LE BASSIN VERSANT DE MERGUELLIL

Le bassin versant de MERGUELLIL a été limité au cassis de la RN, et a une superficie de 1330 km² en grande partie montagneuse et relativement homogène. Il est accolé au Nord - Est à celui de l'oued ZEROUD de taille beaucoup plus grande.

Le cours d'eau principal prend naissance sur le haut plateau de MAKTHAR (950m d'altitude) et s'appelle d'abord BAHLOUL, puis oued SKHIRA, puis oued KERD vers le Sud - Est et prend enfin le nom de MERGUELLIL.

Il longe le flanc Ouest de Jebel OUSSELAT, puis prend la direction Ouest - Est pour passer le verrou d'EL HAOUAREB et s'étendre en un lit très large et instable dans la plaine de KAIROUAN. Le cours principal draine la majeure partie du bassin versant, les affluents de quelque importance étant tous en rive droite, sauf l'oued CHERICHERA tout à fait à l'aval.

(D'après BOUZAIANE S. & LAFORGUE A, 1986).

2) LES SOUS BASSINS VERSANT DU MERGUELLIL

De l'amont vers l'aval, il a été délimité huit sous bassins versant dans le bassin de l'oued MERGUELLIL:

a) Les bassins des oueds AMARA et BOU HASSINE:

Ces deux oueds drainent deux petits bassins situés à la pointe extrême amont du bassin versant de l'oued MERGUELLIL à 5 Km environ au sud de MAKTHAR. Ils ont respectivement une superficie de 2.06 et 2.16 km².

b) Le bassin de l'oued BAHLOUL:

Limité à la SKHIRA ce bassin versant a une superficie de 188 km². Il est plus ou moins montagneux et englobe le versant nord du Jebel BARBROU qui culmine à 1226 m et le haut plateau de la KISRA dont l'altitude moyenne est 1060 m.

c) Le bassin de l'oued KERD:

Ce bassin versant est délimité à AIN EL ASSEL, et couvre environ une superficie qui est estimée à 332 km².

d) Le bassin de l'oued HAJAR:

L'oued HAJAR est un affluent rive gauche de l'oued MERGUELLIL dont le bassin se situe approximativement sur une ligne joignant HAFFOUZ. Ce bassin versant est limité au pont route RN12 et couvre une étendue de 19.8km².

e) Le bassin de l'oued MEGUELLIL à HAFFOUZ:

Ce sous bassin versant constitue la partie centrale du bassin versant de l'oued MERGUELLIL qui est étendue sur superficie de 675 km². Dans cette partie l'oued MERGUELLIL reçoit en sa rive droite un affluent important, l'oued MORRA qui draine une haute plaine en pente douce orientée vers le nord. Par la suite, l'oued MERGUELLIL traverse la plaine de BOUHAFNA et draine tout le flanc ouest du Jebel OUSSELAT qui culmine à 887 m d'altitude.

f) Le bassin de l'oued MERGUELLIL à SIDI BOUJDARIA:

Ce sous bassin versant couvre une étendue de 890 km². Le lit de l'oued MERGUELLIL, à cet endroit, est très large et plat à fond sableux. Il reçoit un affluent rive droite, l'oued ZEBBES (bassin versant de 172 km²) qui draine le plateau d'EL ALA soumis à une forte érosion provoqué par un important ruissellement.

g) Le bassin de l'oued MERGUELLIL à EL HAOUAREB:

Ce bassin versant intermédiaire comprend au sud le Jebel TROZZA (997m) qui donne naissance à l'oued HAMMAM au flanc Nord et à l'oued ZITOUNA au flanc Sud. Il comprend au Nord les contreforts du Jebel OUSSELAT et a une superficie de 1230 km². Ce bassin versant est limité au barrage EL HABIB et c'est sur lui que nous baserons notre étude par la suite.

h) Le bassin de l'oued MERGUELLIL au cassis RN3:

C'est le dernier point où l'on puisse individualiser le bassin versant de l'oued MERGUELLIL. Il reçoit l'oued CHERICHERA en rive gauche vers l'aval.

Les débordements de l'oued MERGUELLIL peuvent se produire en rive droite en cas de grandes crues à l'amont du cassis en direction Sud - Est par dessus le seuil que constitue la route RN3.

(D'après BOUZAIANE S. & LAFORGUE A, 1986).

3) LA MORPHOLOGIE DES SOUS BASSINS DE L'OUED MERGUELLIL

La morphologie des sous bassins de l'oued MERGUELLIL s'exprime par leurs caractéristiques morphologiques qui sont résumées dans le tableau I ci-dessous:

TABLEAU I

	O. AMARA	O. BOU' HASSINE	O. BAHLOUL	O. MERG. A AIN ASSEL	O. HAJAR	O. MERG. A HAFFOUZ	O. MERG. A SIDI BOUJDARIA
Superficie A (Km ²)	2.16	2.06	188	332	19.8	675	890
Périmètre P (Km)	6.25	6.10	58	80	20	117	127
Indice de Compacité	1.19	1.19	1.18	1.24	1.26	1.29	1.21
Log rectangle équiv.(Km)	2.04	2.00	19.20	28.10	7.20	43.20	42.60
Lag rectangle équiv. (Km)	1.09	1.06	9.80	11.80	2.80	15.30	20.90
Indice de pente Roche	0.069	0.069	0.165	0.143	0.187	0.13	0.13
H5% (m)	-	-	985	960	586	900	885
H95% (m)	-	-	650	547	410	335	310
Dénivelée D (m)	71.5	45.5	335	413	176	565	575
Dénivelée Spécif. Ds(m)	51.5	32.7	240	265	108.7	340	403
Indice global pente m/Km	35.05	22.7	17.5	14.7	24.4	13.1	13.5
Altitude du Pt Culminant	-	-	1226	1226	-	1226	1226
Altitude Médiane	-	-	810	748	483	600	550
Altitude minimale	-	-	-	-	-	260	215

(D'après BOUZAIANE S. & LAFORGUE A, 1986).

4) LES CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT DE MERGUELLIL ETUDIE

Comme nous l'avons dit auparavant, le bassin versant sur lequel notre étude sera effectuée est limité au Barrage d'EL HAOUAREB. Ses caractéristiques morphologiques sont les suivantes:

a) *La Superficie (A):*

Le bassin versant de l'oued MERGUELLIL limité au Barrage d'EL HABIB a une superficie égale à 1230 Km². Cette dernière a été calculée à l'aide de l'ordinateur, comme le périmètre, après avoir délimité le bassin versant sur la carte utilisée.

$$A = 1230 \text{ Km}^2.$$

b) *Le périmètre (P):*

Le périmètre de ce bassin versant est de 180.779 Km.

$$P = 180 \text{ Km.}$$

c) *Indice de compacité (K):*

L'indice de compacité utilisé est celui de GRAVELIUS:

$$K = 0.28P/\text{Racine}(A) = 1.44$$

$$K = 1.44$$

Donc le bassin versant est très allongé.

d) *Le rectangle équivalent:*

Soit l et L respectivement la largeur et la longueur du rectangle équivalent à notre bassin versant, nous avons ce qui suit:

$$A = L * l \implies L = A / l$$

$$P = 2(L + l)$$

$$P = 2(A / l + l)$$

$$\implies Pl = 2(A + l^2)$$

$$\implies l^2 - Pl/2 + A = 0.$$

D'où l'équation suivante de second degré dont les solutions sont l et L sont respectivement la largeur et la longueur du rectangle équivalent.

$$X^2 - PX/2 + A = 0.$$

La solution de cette équation:

$$D = P^2/4 - 4A = 3180$$

$$l = X1 = (P/2 - \text{Racine}(D))/2 = 16.8 \text{ Km.}$$

$$L = X2 = (P/2 + \text{Racine}(D))/2 = 73.2 \text{ Km.}$$

Largeur du rectangle équivalent: $l = 16.8$ Km.

Longueur du rectangle équivalent: $L = 73.2$ Km.

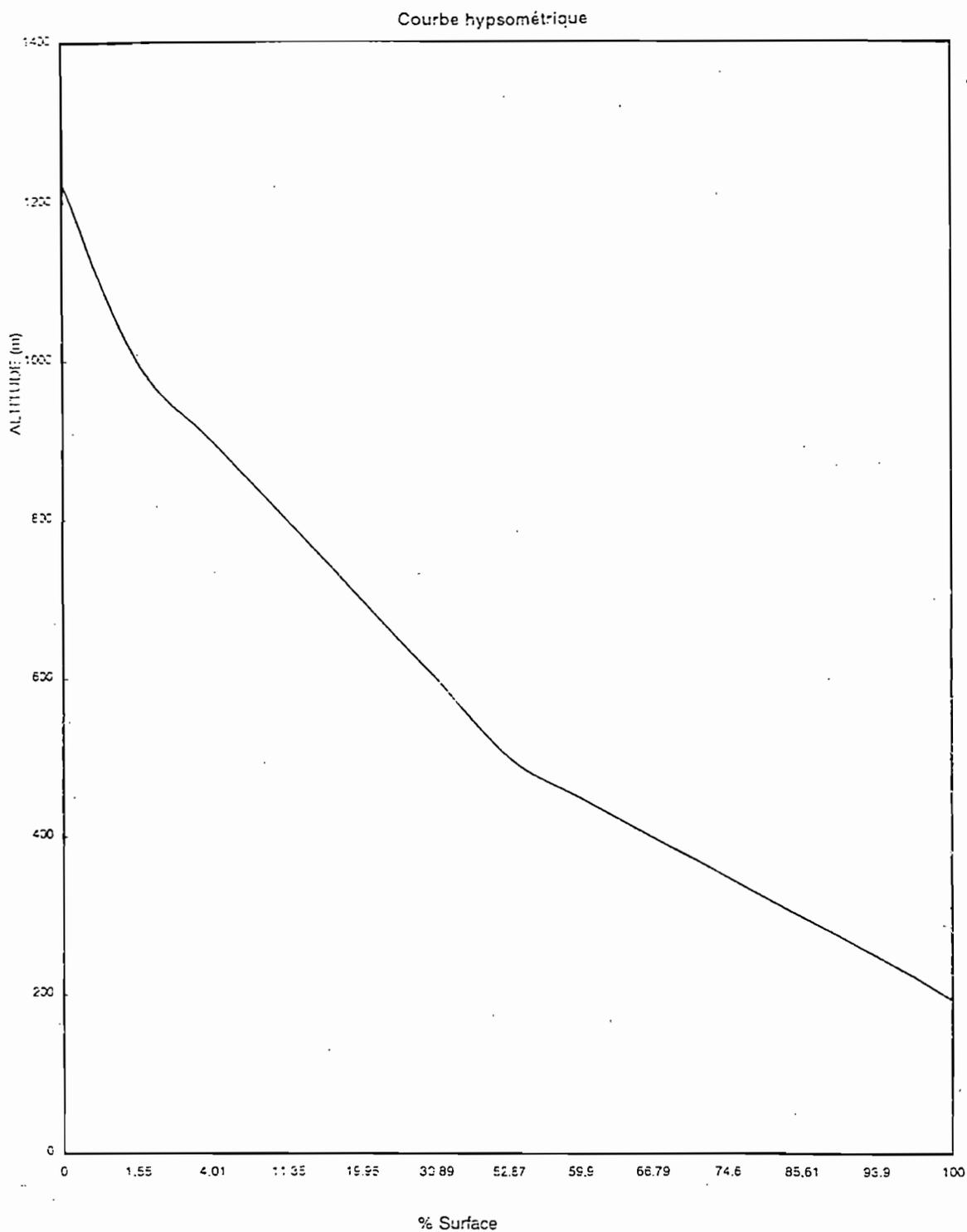
(Voir le rectangle équivalent sur un papier millimétré en annexes).

e) *La courbe hypsométrique:*

Les résultats du planimétrage des surfaces sont compris dans le tableau ci-après:

Altitudes m	Surfaces Km ²	% de surface
1226	000.0	00.00
1200	000.1	00.01
1100	002.1	00.17
1000	019.1	01.60
900	049.4	04.01
800	142.1	11.55
700	245.7	19.98
600	380.4	30.93
500	651.1	52.93
450	737.6	59.97
400	822.5	66.87
350	918.7	74.69
300	1054.3	85.72
250	1156.4	94.02
200	1230.0	100.00

De ces données nous obtenons la courbe hypsométrique du bassin versant de MERGUELLIL.



De cette courbe on aura:

- H5% = 890 m.
- H50% = 515 m.
- H95% = 240 m.

f) *Indice de pente de Roche (Ip):*

$$I_p = 3.349$$

g) *La Dénivelée (D):*

$$D = H_{5\%} - H_{95\%}$$

$$D = 890 - 240 = 650 \text{ m.}$$

$$D = 650 \text{ m.}$$

h) *Indice de pente global (Ig):*

$$I_g = D/L = 650/73.2 = 8.9 \text{ m/Km.}$$

$$I_g = 8.9 \text{ m/Km.}$$

i) *La Dénivelée spécifique (Ds):*

$$D_s = I_g / (\text{racine}(A)) = 312 \text{ m.}$$

$$D_s = 312 \text{ m.}$$

De ceci on peut déduire que le relief de ce bassin est un relief fort.

j) *Altitude Maximale* du bassin versant de MERGUELLIL est égale à 1226 m.

$$A_{\max} = 1226 \text{ m.}$$

k) *Altitude Médiane* du bassin versant de MERGUELLIL est égale à 515 m.

$$A_{\text{méd}} = 515 \text{ m.}$$

l) *Altitude Minimale* du bassin versant de MERGUELLIL est égale à 194 m.

$$A_{\min} = 200 \text{ m.}$$

C) LE COUVERT VEGETAL DU BASSIN VERSANT DE MERGUELLIL

Pour déterminer le couvert végétal du bassin versant de MERGUELLIL trois documents ont été utilisés. Il s'agit de la carte d'état Major (MAKTHAR), de l'étude phytoécologique de la Tunisie Septentrionale (INRAT-1967) et des documents de travail du projet intégré de la Tunisie centrale (FAO-1967). Ces cartes plus détaillées ont été simplifiées pour figurer schématiquement l'occupation du sol par les spéculations agricoles et forestières regroupées en quatre unités (voir la carte N° 14 en annexes):

- 1) Forêt plus ou moins dense de Pin d'Alep qui occupe 9 % de la superficie totale du bassin (à l'amont du bassin).
 - 2) Forêts claires - garrigues - steppes de montagne couvrant 33 % de l'étendue totale du bassin.
 - 3) Zones de cultures annuelles et de parcours occupant 51 % du bassin versant.
 - 4) Zones de plantations arbustives, en sec ou en irrigué qui couvrent 7 % du bassin versant de MERGUELLIL.
- (D'après BOUZAIANE S. & LAFORGUE A, 1986).

D) LES SOLS DU BASSIN VERSANT DE MERGUELLIL

Deux principaux éléments ont favorisé la pédogenèse dans ce bassin versant, il s'agit d'une lithologie sédimentaire et d'un climat méditerranéen continental, semi-aride dans la moitié nord, devenant aride au sud avec d'importantes variations selon l'altitude et l'exposition (microclimats plus humides sur les versants Nord Ouest et sur les sommets).

Le facteur humain est actuellement le facteur primordial d'évolution; en effet, la pression démographique est à l'origine de l'augmentation du pâturage extensif et de la mise en céréaliculture après défrichements. L'aboutissement en est une dégradation accentuée des sols sur l'ensemble du bassin.

A partir de nombreux documents pédologiques existants, et en particulier les cartes du "projet FAO de planification de la Tunisie centrale" au 1/100000 (1967) et de la carte de la Tunisie au 1/500000 (DRES-TUNIS), BOUZZAIANE et LAFFORGUE ont dressé une carte schématique des sols du bassin versant de MERGUELLIL à l'échelle 1/200000, regroupés en six unités suivant les critères principaux d'évolution, de conservation et de la nature de la roche mère (voir la carte N° 15 en annexes). Ces unités sont:

- 1) Sols peu évolués: sur apports alluviaux: ils représentent 20 % du bassin.
 - 2) Sols calcimagnésiques: dégradés, sur croûte ou encroûtement calcaire; ils couvrent 22 % de la superficie du bassin versant de MERGUELLIL.
 - 3) Sols isohumiques: profonds, sur les matériaux d'épandage tendres; ils occupent 7.5 % de l'étendue du bassin versant de MERGUELLIL.
 - 4) Sols d'érosion dominants associés à des sols calcimagnésiques: sur matériaux pédologiques durs; ils représentent 8 % du bassin.
 - 5) Sols d'érosion dominants associés à des sols calcimagnésiques: sur matériaux pédologiques tendres; ils représentent 24.5 % du bassin.
 - 6) Sols d'érosion dominants associés à des sols calcimagnésiques: sur matériaux pédologiques durs et tendres; ils représentent 18 % de la superficie du bassin versant de MERGUELLIL.
- (D'après BOUZZAIANE S. & LAFORGUE A, 1986).

E) LA GEOLOGIE ET LA GEOMORPHOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE MERGUELLIL

Le bassin versant de l'oued MERGUELLIL et la branche Nord de l'oued ZEROUD qui s'appuient sur les versants sud de la dorsale et des hauts plateaux sont constitués de reliefs continus moyennement élevés. Ces reliefs dont l'alignement général est d'axe Sud-Ouest Nord-Est sont composés uniquement de formations d'origine sédimentaire parmi lesquelles la série des calcaires (parfois dolomitiques): calcaires marneux, marno-calcaires et marnes d'âge crétacé et éocène, est largement dominante.

D'autres matériaux plus grossiers d'origine détritique constitués de sable, de grès et d'argiles sableuses de la fin du Tertiaire (miocène) reposent en discordance sur les précédents et affleurent largement dans la région d'EL ALA.

Dans la lithologie du bassin versant de l'oued MERGUELLIL le gypse est relativement peu abondant.

Les dépôts quaternaires anciens ont largement recouvert les dépôts tertiaires et ont été modelés en grands glacis d'accumulation souvent fossilisés par une croûte ou un encroûtement calcaire. Les alluvions colluvions récentes sont venues pour combler les dépressions et les entailles de ces glacis.
(D'après BOUZAIANE S. & LAFORGUE A, 1986).

CONCLUSION

Le bassin versant de l'oued MERGUELLIL localisé entre 35°15' et 36° de latitude Nord et entre 9° et 10° de longitude Est, est situé dans les gouvernorats de SILIANA et KAIROUAN de la Tunisie centrale. Son climat sub-aride au Nord et aride au sud est l'un des principaux facteurs de la pédogenèse qui a été aussi accentuée par une lithologie sédimentaire. Les sols calcimagnésiques et surtout les sols d'érosion dominants qui leurs sont associés occupent la majeure superficie du bassin; ce qui implique que cette région est menacée par l'érosion. Le relief de ce bassin versant est continu, moyennement élevé. De l'amont vers l'aval on trouve les principales formes suivantes: le haut plateau de MAKTHAR (950m), le Jebel BARBROU qui culmine à 1226 m, le haut plateau de KISRA (1060 m), le Jebel OUSSELAT (887 m), et le Jebel TROZZA (997 m).

Les cultures annuelles, les parcours et les forêts claires constituent l'essentiel de l'occupation du sol de ce bassin versant avec un taux de recouvrement de plus de 80 %.

CHAPITRE II- GENERALITES SUR LES MODELES NUMERIQUES DU TERRAIN

A) DEFINITIONS

On appelle modèle numérique du terrain (MNT) toute représentation numérique d'un champ de relief (altitudes). Il peut être de trois formes:

- La première forme consiste en une représentation de la surface par un semis de ses points caractéristiques tels que les sommets, les dépressions et autres.
- La deuxième forme est une représentation "vecteur" constituée par un ensemble de polygones qui constituent une planche de courbe de niveau.
- La troisième forme constitue une représentation "raster" formée d'un champ d'altitudes connues aux noeuds d'une grille régulière à mailles carrées. Nous partirons de la deuxième forme obtenue directement par la numérisation pour produire cette dernière.

La conception et la production d'une part, et l'exploitation des modèles numériques du terrain d'autre part, ne sont pas aisées. C'est pour cette raison qu'un certain nombre d'outils informatiques susceptibles de les produire et de les exploiter ont été mis au point pour les utilisateurs. Parmi ces outils on peut citer les systèmes d'information géographique (SIG) qui sont à l'heure actuelle très diversifiés, DEMIURGE, etc.

Dans ce qui suit, c'est ce dernier que nous utiliserons pour produire et exploiter le modèle numérique du terrain du bassin versant de MERGUELLIL.

B) PRESENTATION DE DEMIURGE

DEMIURGE (Digital Model In Urgency) constitue une chaîne de programmes permettant la production et le traitement des modèles numériques du terrain (MNT); qui a été mise au point par le Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération) sis à Montpellier (France).

DEMIURGE est composé de quatre logiciels qui sont le logiciel de numérisation (T2 ou TOPOLOG), le logiciel de calcul des MNT (OROLOG), le logiciel de traitement des MNT (LAMONT) et le logiciel de simulation des écoulements (TOPASE).

1) T2 OU TOPOLOG

Le module T2 permet la numérisation de documents cartographiés à l'aide de la table à numériser. Il est avant tout adapté à la saisie des planches de courbes de niveau, mais il est aussi apte à saisir d'autres données telles que les réseaux hydrographiques.

T2 permet d'assembler les fichiers issus de plusieurs sessions de travail en un seul fichier avec l'utilitaire T2-ASSF; il peut aussi désassembler par géocodes les fichiers issus de T2-ASSF par l'utilitaire T2-DESC. Les fichiers issus de ces deux utilitaires sont directement compatibles avec OROLOG.

T2 effectue, en plus, la rasterisation des fichiers provenant de la numérisation pour les rendre compatibles avec LAMONT par son utilitaire T2-RAST. Et en définitif, le module T2 permet de créer les fichiers compatibles avec deux systèmes d'informations géographiques MAPINFO et IDRISI.

Notons que les fichiers issus directement de T2 (de la numérisation) ont comme extension CRT et sont compatibles avec OROLOG.

Il existe un autre logiciel qui permet la numérisation connu sous le nom de TOPOLOG, mais nous n'utiliserons que T2 en ce qui nous concerne.

2) OROLOG

Le module OROLOG permet le calcul des modèles numériques du terrain (MNT) à partir de fichiers des courbes de niveau numérisées obtenus par T2. Les fichiers en sortie sont des fichiers d'altitudes d'extension MNT en mode raster et donc compatibles avec LAMONT.

L'interpolation se fait en quatre étapes (voir OROLOG, module d'interpolation version 1,2) et nécessite la création d'un certain nombre de fichiers intermédiaires.

3) LAMONT

LAMONT signifie logiciel d'application des modèles numériques de terrain. Il crée un certain nombre de fichiers dérivés en utilisant un des modes maillé ou centré. De ces fichiers on peut aussi calculer des diagrammes bidimensionnels.

a) Les fichiers Dérivés du MNT :

On distingue quatre types de fichiers dérivés en fonction de la nature de l'information, qui peut être qualitative ou quantitative, et de son objet qui peut être relatif soit aux formes de terrain, soit aux propriétés de drainage.

• *Fichiers géomorphométriques:*

Ils représentent une mesure d'une propriété du terrain (pente, courbure, etc) et sont au nombre de onze :

■ *Fichier d'altitudes :*

Ce fichier a pour extension ALT. Pour le calcul en mode centré ce fichier correspond au MNT, alors qu'en mode maillé les valeurs d'altitudes au niveau des mailles sont égales à la moyenne des altitudes des quatre points délimitant la maille.

■ *Fichier des pentes :*

Dans le logiciel LAMONT, le fichier des pentes est exprimé en dixième de degrés et a pour extension PEN.

■ *Fichier des expositions :*

Ce fichier a pour extension EXP. Les valeurs de ce fichier appartiennent à l'intervalle $[0,360]$ degrés, sauf lorsque la pente est nulle auquel cas la valeur est -1.

■ *Fichier des convexités verticales :*

Les convexités verticales représentent une mesure de la courbure de la ligne de plus grande pente. Ce fichier ne peut être calculé qu'en mode maillé et a pour extension COV.

☒ *Fichier des convexités horizontales :*

Les convexités horizontales représentent une mesure de la courbure des courbes de niveau. Les valeurs comprises dans ce fichier, d'extension COH, sont comprises entre -180° (dépressions) et 180° (sommets).

☒ *Fichier des convexités transversales :*

Les convexités transversales représentent une mesure de la courbure du terrain perpendiculairement à la ligne caractéristique locale : dans le cas d'un site encaissé, il s'agit de la ligne de talweg, alors que dans le cas inverse c'est la ligne de crête qui est considérée. Ce fichier a pour extension COT et ses valeurs sont comprises dans l'intervalle $]-180^\circ, 180^\circ]$.

☒ *Fichier des convexités directionnelles :*

Cette courbure rend compte de la direction vers laquelle tend la ligne de plus grande pente : soit elle tend vers la droite (site dextrogyre) soit vers la gauche (site lévogyre). Ce fichier a pour extension COD.

☒ *fichier des courbures moyennes :*

La courbure moyenne correspond à la somme des courbures en X et en Y. Ce fichier a pour extension CM.

☒ *Fichier des courbures totales :*

La courbure totale correspond à la différence entre le produit des courbures en X et Y et le carré de la courbure XY. Le fichier a pour extension CT.

☒ *Fichiers des courbures moyennes quadratiques :*

Ce fichier a pour extension CMQ.

☒ *Fichier des encaissements :*

Les encaissements représentent une mesure de la dénivelée entre la maille centrale et ses huit voisines. La valeur de l'encaissement est égale à la somme des dénivelées. Une valeur positive signale que les reliefs situés au dessus de l'altitude de la maille centrale sont dominants. Alors qu'une valeur négative signale une prédominance des reliefs encaissés c'est à dire situés en dessous de l'altitude de la maille centrale. Ce fichier a pour extension ENC.

• *Fichiers géomorphologiques :*

Ces fichiers correspondent à une classification des formes du terrain (sommets, cols, versants, etc.) Un seul fichier géomorphologique est calculé par LAMONT, il s'agit du fichier des sites. Ce fichier a SIH comme extension et est obtenu en considérant l'altitude relative de la maille centrale par rapport à ses voisines : altitudes inférieures ou égales d'une part, altitudes supérieures d'autre part. Théoriquement 256 (2⁸) cas sont possible, mais en vue de la simplification, seuls 19 classes seront différenciées qui peuvent être groupées en cinq familles :

- plans horizontaux : code 9,
- sites encaissés (dépressions, vallées) : codes 5 à 8,
- versants : code 4.
- sites dégagés (sommets, crêtes) : codes 0 à 3

• *Fichiers hydrologiques :*

Ils correspondent à une classification en fonction d'un critère de drainage. Deux fichiers hydrologiques nous sont offerts :

■ *Fichier de drainages (ou modèle de drainage) :*

Le modèle de drainage contient les directions de drainage entre la maille centrale et une de ces huit voisines en fonction du fichier dérivé des altitudes. La direction est déterminée selon le principe de la descente maximale : le drainage se fait dans la direction de la maille voisine d'altitude inférieure la plus faible. Neuf cas peuvent se présenter :

- +) 0 : pas de drainage.
- +) 1 : drainage vers le nord.
- +) 2 : drainage vers le nord-ouest.
- +) 3 : drainage vers le ouest.
- +) 4 : drainage vers le sud-ouest.
- +) 5 : drainage vers le sud.
- +) 6 : drainage vers le sud-est.
- +) 7 : drainage vers l'est.
- +) 8 : drainage vers le nord-est.

Ce modèle de drainage peut comporter des anomalies tel que les dépressions parasites, boucles de drainages, etc. Ces anomalies sont corrigées de deux façons : interactivement d'une part, et automatiquement d'autre part.

■ *Fichier bassins versants :*

Ce fichier permet de délimiter les bassins versants contenus dans les modèles numériques du terrain à partir du modèle du drainage et en utilisant l'utilitaire LAM-BV.

• *Fichiers hydrométriques :*

Les fichiers hydrométriques représentent une mesure d'une propriété de drainage tel qu'il peut être déduit du MNT. Ces fichiers sont dérivés du modèle de drainage obtenu dans les fichiers hydrologiques. Il s'agit de :

■ *Fichier des longueurs de drains :*

Ce fichier contient la longueur du drain le plus long passant par chaque maille et a pour extension LOD. La longueur de drain est exprimée en nombre de pas du MNT.

■ *Fichier des distances à l'exutoire :*

Ce fichiers contient les distances entre chaque maille et l'exutoire du bassin versant auquel elle appartient et a pour extension DBV. Comme dans le cas précédent, les distances à l'exutoire sont exprimées en pas du MNT.

■ *Fichier des surfaces drainées :*

Ce fichier contient les distances entre chaque maille et l'exutoire du bassin versant situé à l'amont de chaque maille et a pour extension SBV.

■ *Fichier de l'accroissement des surfaces drainées :*

Ce fichier contient les mesures de l'accroissement des surfaces drainées pour un déplacement élémentaire sur le MNT. Il a DS comme extension.

■ *Fichier des largeurs de rectangles équivalents (l):*

La largeur du rectangle équivalent est calculé par le rapport de la surface drainée (S) et de la longueur du drain le plus long (L). Ce fichier a pour extension LRE.

$$l = S/L$$

■ *Fichier des indices de compacité (Ic):*

L'indice de Compacité est calculé en faisant le rapport entre la surface drainée (S) et le carré de la longueur du drain le plus long L.

$$Ic = S/(L^2)$$

■ *Fichier des indices de Beven (I_b) :*

L'indice de Beven I_b indique le degré de saturation potentielle en eau des sols qui est proportionnelle à la surface (a) et inversement proportionnelle à la pente locale (Tan(b)).

$$I_b = \text{Log} (a/\text{Tan}(b))$$

Ce fichier a pour extension BEV et est calculé par l'utilitaire LAM_BEVE.

b) Les Diagrammes bidimensionnels

Ces diagrammes donnent une vision synoptique de la relation statistique entre deux variables sous la forme d'un nuage de points. Les combinaisons les plus intéressantes sont au nombre de quatre.

- **DBV et ALT :**

Cette combinaison des altitudes (ALT) et des distances à l'exutoire (DBV) visualise l'organisation des formes de terrain par rapport à l'exutoire considéré. Le nuage de points obtenu représente l'ensemble des profils en long du bassin versant d'où le terme de « Profil généralisé » appliqué à ce type de diagramme.

- **LOD et ATL :**

Cette combinaison des altitudes et des longueurs de drains visualise l'ensemble des profils en longs du bassin versant.

- **DBV et SBV :**

Pour cette combinaison des distances à l'exutoire (DBV) et les surfaces drainées (SBV), le nuage de points se structure en segment correspondant à des biefs bornés par des confluences. La pente et la forme de ces segments indique le caractère plus au moins progressif de l'accroissement des surfaces drainées et de leur taux d'accroissement.

- **ALT et PEN :**

Cette combinaison des altitudes et des pentes donne l'étagement des formes en fonction des altitudes avec les étages a tendance statistique concave et à tendance convexe séparés par des étages d'inflexion ou de pente d'inflexion ou de pente constante.

4) TOPASE

Le logiciel TOPASE (Topographie appliquée à la simulation des écoulements de surface) est le dernier programme de la chaîne de production et de traitement des MNT DEMIUGE. IL permet la simulation des écoulements de surface à partir de quatre fichiers dérivés du MNT créés par LAMONT. Ces fichiers sont : Le fichier des altitudes (ALT), le fichier des surfaces drainées (SBV), le fichier des convexités horizontales(COH) et le fichier des modèles de drainage (DRA).

CHAPITRE III- CALCUL DE MNT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED MERGUELLIL

INTRODUCTION

Le calcul du modèle numérique de terrain (MNT) du bassin versant de l'oued MERGUELLIL a été effectué en une série d'étapes. On a, tout d'abord, procédé à la numérisation de la planche des courbes de niveau, ensuite on a fait le traitement de ces courbes numérisées, et en dernier lieu on est passé au calcul proprement dit du MNT de MERGUELLIL.

A) LA NUMERISATION DE LA PLANCHE DE COURBES DE NIVEAU

La numérisation a été effectuée après avoir limité le bassin versant de MERGUELLIL sur une carte de la Tunisie (MAKHAR) à l'échelle au 1/200000. Signalons que l'équidistance, sur cette carte, entre les courbes de niveau est de 50 m et que nous avons numérisé toutes les courbes de niveau se trouvant dans le bassin versant et dans son voisinage immédiat.

Le matériel utilisé :

Le matériel utilisé pour la numérisation est le suivant :

- Un PC connecté à la table à numériser comportant un écran couleur VGA. Les touches fonctions du clavier utilisées dans la numérisation sont F1 à F10, INS, ECHAP, SUPPR, HOME, FIN, les touches directionnelles, etc.
- Une table à numériser composée d'un curseur quatre boutons (B1, B2, B3, et B4), d'une cartouche zone « fonctions » de 30 cases (ZF1 à ZF30), et d'une zone active où a lieu la numérisation.

Une fois le matériel branché, on commence par le lancement de la SESSION de travail qui peut contenir jusqu'à 10 fichiers. Chacun de ces fichiers a une capacité limite ne dépassant pas un certain seuil de points et d'arcs. Nous avons pris MARGE comme nom de la session et n'avons eu que deux fichiers de courbes de niveau dans cette session : MARGE0.CRT et MARGE1.CRT.

B) LE TRAITEMENT DES COURBES DE NIVEAU NUMERISEES

Après numérisation et sauvegarde des courbes de niveau dans les deux fichiers de la session MARGE, nous avons procédé à ce qu'on appelle «LA GENERALISATION» pour chacun de ces deux fichiers.

La généralisation permet d'éliminer les points peu utiles parmi les points saisis au cours de la « saisie en continue », en fonction d'un paramètre de généralisation que nous avons pris égale à quatre (4) dans notre cas.

L'assemblage des fichiers MARGE0 et MARGE1 généralisés a été la deuxième et la dernière étape du traitement. L'utilitaire de T2 permettant cet assemblage est T2_ASSF et le fichier résultant a été appelé ASSEMBL0.CRT.

C) INTERPOLATION DES ALTITUDES OU CALCUL DU MNT

1) APERCU SUR LES PRINCIPALES METHODES D'INTERPOLATION

Les points numérisés correspondant aux courbes de niveau peuvent être considérés soit comme un semis de points, soit comme des chaînes de points formant des polygones. Ceci conduit à dire qu'il existe deux principales familles d'interpolation : la méthode d'interpolation à partir d'un semis de points et la méthode d'interpolation à partir de courbes de niveau.

a) Méthodes d'interpolation à partir d'un semis de points :

Trois modes de traitement d'un semis de points peuvent être distingués :

- *Interpolation en fonction du voisinage :*

L'altitude d'un point du MNT est obtenue en tenant compte du semis de points localisés dans son voisinage. Leurs poids respectifs dans le calcul de l'altitude est fonction inverse de la distance au point du MNT. La plus utilisée est la fonction $1/d^2$, mais vu qu'aucune des fonctions de pondération n'est adaptée à tous les types de terrain plusieurs fonctions d'interpolation ont été utilisées : approximation polynomiale avec résolution par les moindres carrés (SCHUT,1976), interpolation barymétrique (SHEPARD,1968), sommation des surfaces (CHOLETS, 1976), etc.

- *Superposition d'un réseau à mailles carrées :*

La méthode a pour principe la juxtaposition de surfaces ayant des contraintes de continuité à leurs frontières. Ces surfaces peuvent être polynômes bicubiques, courbes de bézier, B. splines paramétrées, splines quadratiques etc.

- *Interpolation à partir d'une triangulation du semis :*

Le principe est similaire au précédent mais présente l'avantage d'utilisation des fonctions beaucoup plus simples.

b) Méthodes d'interpolation à partir de courbes de niveau :

Dans ces méthodes on assimile une courbe de niveau à une chaîne de points définissant un polygone. Il existe quatre méthodes d'interpolation basées sur deux principes de calcul : calcul en fonction d'un système d'axes et calcul en fonction de la plus grande pente.

• Méthodes basées sur un système d'axes :

Elles peuvent varier en fonction du nombre d'axes considérés : deux axes orthogonaux (la plus utilisée) et quatre axes formant l'angle de 45° entre eux (méthode de YOELI, 1986). Ici, une fois de plus, plusieurs fonctions d'interpolation en fonction d'axe sont utilisables : linéaire, cubique, spline, et polynôme. Le lissage des résultats bruts de l'interpolation afin d'éliminer certains artefacts morphologiques s'avère le plus souvent nécessaire.

• Méthodes basées sur la ligne de plus grande pente :

La recherche de la ligne de plus grande pente peut se faire de trois manières :

- en fonction d'un voisinage défini comme étant l'élément morphologique simple auquel appartient le point.
- en définissant les deux points les plus proches appartenant à deux courbes différentes.
- en fonction de huit directions pré - définies ou plus.

2) LA METHODE D'INTERPOLATION UTILISEE DANS LA CHAINE DEMIURGE

La méthode d'interpolation utilisée dans DEMIURGE (OROLOG) est celle de YOELI (1986) qui consiste à calculer la valeur moyenne pondérée de l'altitude interpolée à l'aide de fonctions splines cubiques le long de quatre axes. Les fonctions splines correspondent à des fonctions polynomiales ajustées par morceau sur un transect ayant une propriété d'être adaptées à la représentation des phénomènes continus. Les splines cubiques dont la fonction polynomiale élémentaire est de la forme $Y = f(X) = aX^3 + bX^2 + cX^1 + dX^0$ est la plus utilisée. Une courbe spline correspond donc à une succession de polynômes du troisième degré, calés sur chaque intervalle défini par deux points de mesure consécutifs et se raccordant les uns aux autres par une condition de continuité des courbes.

La première étape de calcul consiste, une fois le pas du MNT fixé, à rechercher toutes les intersections entre les courbes de niveau et le système d'axes qui serviront de points de calage pour le calcul des courbes splines le long des axes.

a) Calcul des altitudes à partir des valeurs interpolées sur les axes :

L'altitude (Z) de chaque point du MNT est obtenue en faisant la moyenne pondérée des altitudes (Z1, Z2, Z3, Z4) calculées sur les axes.

La pondération (W) utilisée par YOELI consiste à faire la somme des inverses des distances aux courbes encadrant le point du MNT interpolé.

$$W = 1/D_p + 1/D_s$$

avec : Dp : la distance du point à la courbe précédente

Ds : la distance du point à la courbe suivante

On aura donc :

$$Z = \sum W_i \times Z_i / \sum W_i$$

avec : i qui varie de 1 à 4.

L'erreur quadratique moyenne E entre la valeur de la moyenne et les quatre valeurs interpolées de départ sera :

$$E = \sum (D_i^2 \times W_i) / [3 \sum (W_i)]^{1/2}$$

avec : i qui varie de 1 à 4.

b) calcul des altitudes en tenant compte de la morphologie locale des courbes de niveau :

Le critère de pondération de YOELI ne tient pas compte de la différence d'altitude entre les courbes encadrantes. Ceci peut être à l'origine de fortes oscillations de la courbe qui sont hors de la proportion par rapport au phénomène étudié.

Une typologie de l'étagement de quatre points, correspondant au quatre courbes de niveau se trouvant dans les morceaux sur les quels les fonctions cubiques sont interpolées, de calage le long de l'axe permet de définir le contexte morphologique dans lequel l'interpolation du point a été faite. Cette typologie est établie pour chaque point sur les quatre axes et permet la définition du critère de surpondération morphologique (SPM) calculé en fonction du site morphologique (SM) :

$$SPM = CSM \times SM$$

avec CSM : le coefficient de surpondération morphologique > à 1.

Et donc la moyenne des valeurs d'altitudes interpolées sur les quatre axes, pondérée à la fois par le critère de la somme des inverses de distance aux courbes de niveau encadrantes et par le critère de surpondération morphologique sera égale :

$$Z = \sum (SPM_i \times W_i \times Z_i) / \sum (SPM_i \times W_i)$$

3) LES ETAPES ET LES PARAMETRES UTILISES POUR LE CALCUL DU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN DE L'OUED MERGUELLIL

a) Les étapes de calcul du MNT :

Le modèle numérique du terrain a été calculé à partir du fichier ASSEMBLO.CRT obtenu après la numérisation des courbes de niveau et leur assemblage. Pour cela une série de fichiers intermédiaires sont créés en passant par plusieurs étapes :

- *Etape initiale :*

Dans cette étape c'est le traitement du fichier ASSEMBLO.ISO, obtenu à partir du fichier ASSEMBLO.CRT, qui est effectué. Pour cela, ce fichier est renommé avec extension (1) et un deuxième fichier d'extension (2) est créé correspondant au premier après un éventuel changement d'origine et rotation de 45°.

- *Etape 1 :*

Elle permet, cette étape, de calculer les intersections entre les quatre systèmes d'axes et les courbes de niveau. Ces intersections sont comprises dans les fichiers XX1, YY1, XX2, et YY2. Ensuite ces fichiers sont triés par ordre croissant de numéro de profil et de coordonnées à l'intérieur des profils (dans les fichiers TX1, TX2, TY1, et TY2).

- *Etape 2 :*

A partir des fichiers triés des intersections, l'étape deux permet l'interpolation, sur chaque, axe des altitudes (dans les fichiers MX1, MY1, MX2, et MY2), le calcul des pondérations en fonction des distances qui peuvent être normales ($W = 1/Dp + 1/Ds$) ou logarithmiques ($W = \ln(1/Dp + 1/Ds)$) (dans les fichiers DX, DY1, DX2, et DY2), et enfin l'établissement de la typologie en fonction des courbes encadrantes (fichiers SX1, SX2, SY1, et SY2).

- *Etape 3 :*

Dans l'étape 3, il y a le calcul du fichier MNT à partir des fichiers intermédiaires calculés à l'étape 2.

b) Les paramètres de calcul du MNT de MERGUELLIL :

Etant donné que l'objectif principal est de produire le MNT aussi dense que possible ne présentant pas de défauts de « tôle ondulée » entre les courbes de niveau (bugging) et exempts de « striation » (stepping) le long de directions en vue de se rapprocher le plus fidèlement possible du modèle convexoconcave réel des versants, nous avons pris les paramètres d'interpolation qui suivent :

• *Le pas du modèle numérique de terrain :*

Le pas minimum autorisé par l'ordinateur pour le bassin versant du MERGUELLIL est de 120 mètres dont le nombre de profils est 599 de 458 points. Or la taille maximale d'un fichier en lecture par LAMONT est de 585 profils de 480 points qui correspond à la taille maximum d'un fichier en affichage VGA. C'est pour cette raison que nous avons pris le pas du MNT égal à 130 mètres dont le nombre de profils est 552 de 421 points.

Le PAS du MNT = 130 mètres.

• *L'intervalle entre les courbes de niveau :*

Ce paramètre intervient à plusieurs niveaux; notamment au niveau de la troncature des oscillations parasites de l'interpolation, au niveau de l'affichage du MNT par plages de niveau, et au niveau du calcul du critère d'oscillations. Il est égal à 50 mètres. Cependant si on le prend égal à 100 mètres le critère d'oscillations diminue (voir les courbes 1 et 2).

L'intervalle entre les courbes de niveau = 50 mètres.

• *Le nombre d'axes minimum d'interpolation :*

Pour ce facteur, plus le nombre d'axes augmente plus le critère d'oscillations diminue en ce qui concerne le MNT de MERGUELLIL (voir les courbes 4 et 1).

Le nombre d'axes minimum d'interpolation permettant le calcul d'une altitude a donc été pris par défaut égal à quatre (4).

Le nombre d'axes minimum d'interpolation = 4 axes.

• *La pondération en fonction de la distance :*

Nous avons choisi la pondération logarithmique de la distance, parce que il a été démontré que, pour notre MNT, cette dernière diminue le critère d'oscillation (voir les courbes 1 et 3).

La pondération en fonction de la distance = logarithmique.

• *Le coefficient de surpondération morphologique :*

Le coefficient de surpondération morphologique (CSM) qu'on définit lorsque l'option de surpondération morphologique a été choisie a été pris égal à 1.5 (voir la courbe 1).

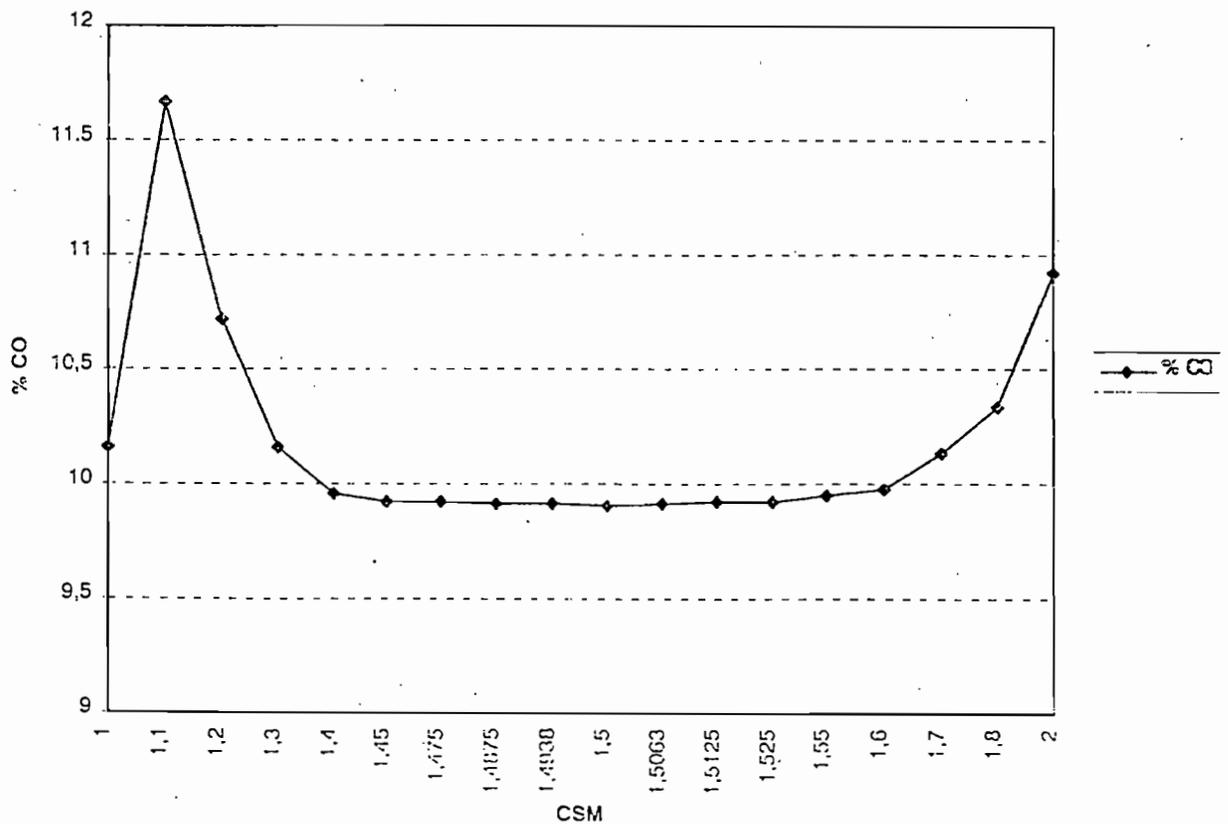
Le coefficient de surpondération morphologique = 1.5

COURBE 1 :

Paramètres :

- ▣ Pas du MNT : 130 mètres.
- ▣ Intervalle entre les courbes de niveau : 50 mètres.
- ▣ Nombre minimum d'axes d'interpolation : 4 axes.
- ▣ Pondération en fonction de la distance : logarithmique.

COURBE 1

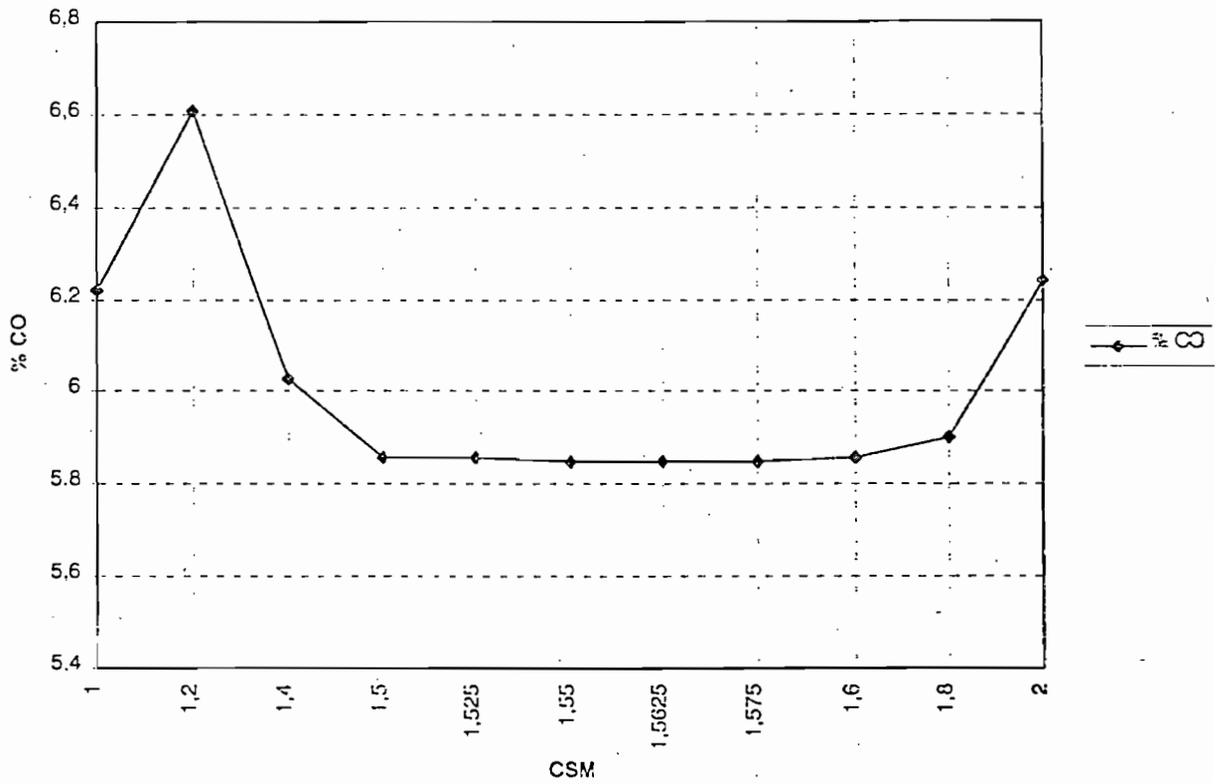


COURBE 2 :

Paramètres :

- ▣ Pas du MNT : 130 mètres.
- ▣ Intervalle entre les courbes de niveau : 100 mètres.
- ▣ Nombre minimum d'axes d'interpolation : 4 axes.
- ▣ Pondération en fonction de la distance : logarithmique.

COURBE 2

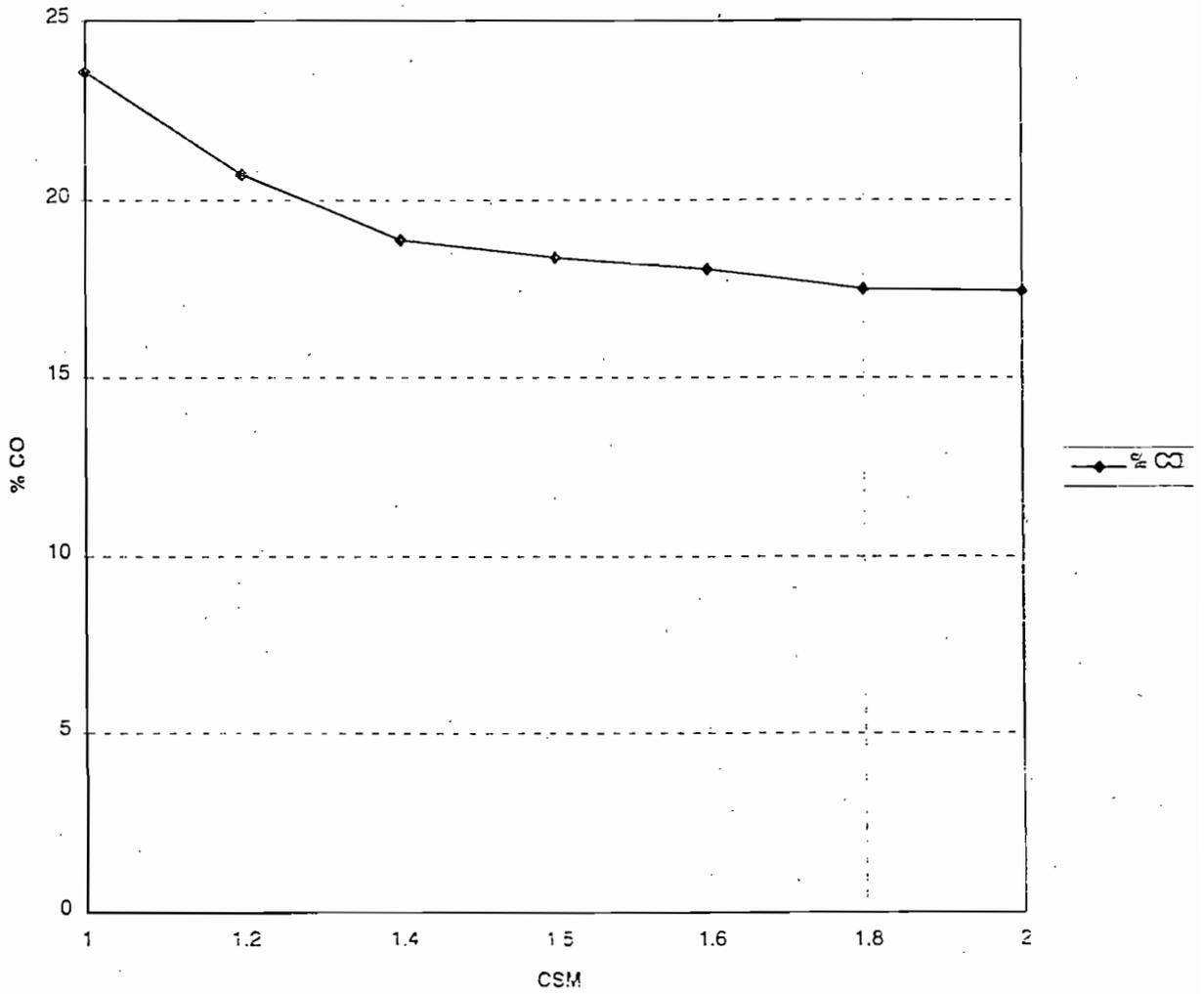


COURBE 3 :

Paramètres :

- Pas du MNT : 130 mètres.
- Intervalle entre les courbes de niveau : 50 mètres.
- Nombre minimum d'axes d'interpolation : 4 axes.
- Pondération en fonction de la distance : normale.

COURBE 3

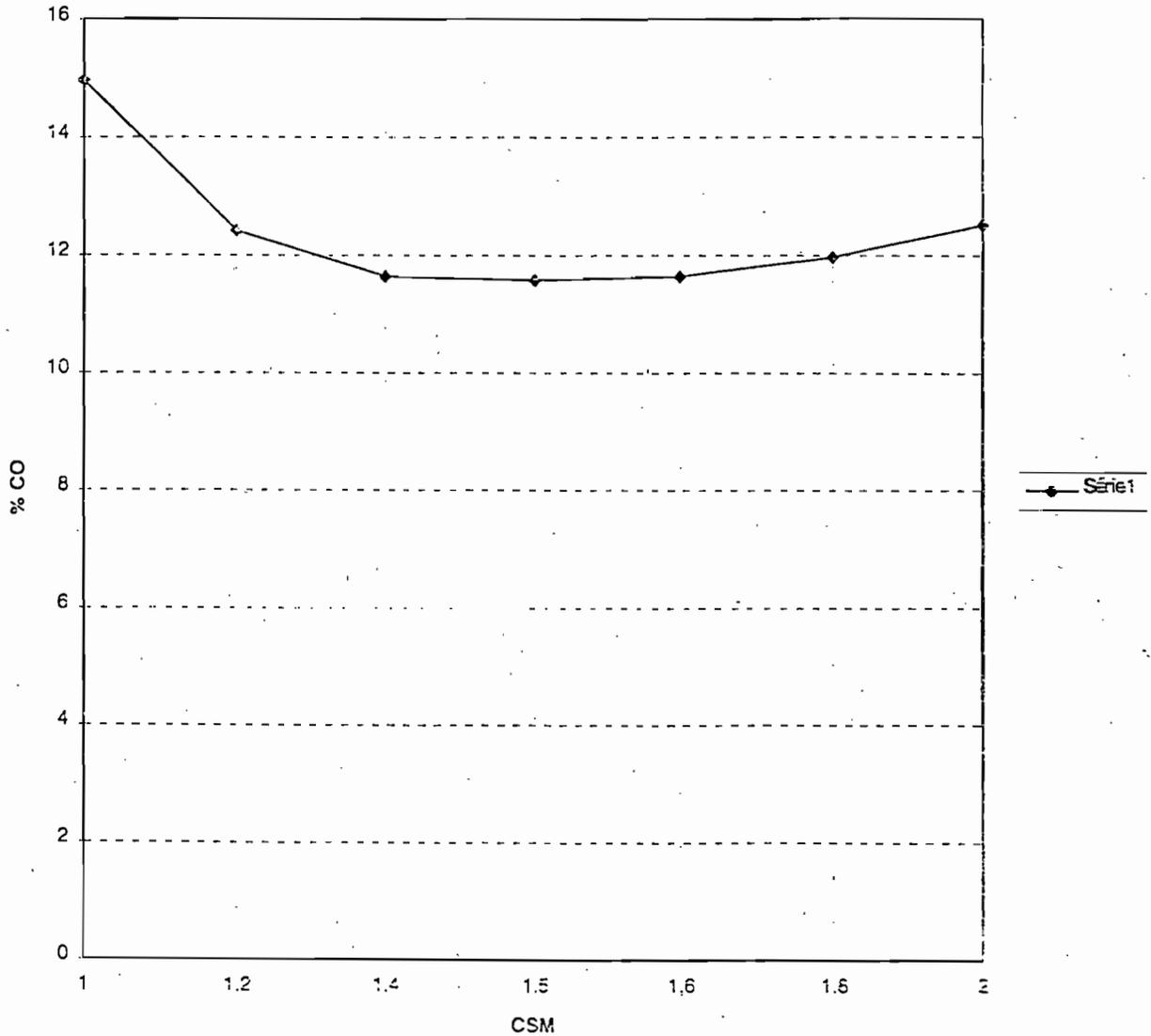


COURBE 4 :

Paramètres :

- Pas du MNT : 130 mètres.
- Intervalle entre les courbes de niveau : 50 mètres.
- Nombre minimum d'axes d'interpolation : 2 axes.
- Pondération en fonction de la distance : logarithmique.

COURBE4



D'où les résultats suivants : TABLEAU II

Pas de MNT du Merguellil	130 m
Intervalle entre les courbes de niveau	50 m
Coefficient de surpondération morph.	1.5
Pondération de la distance	logarithmique
Nombre d'axes d'interpolation	4 axes

CHAPITRE IV- APPLICATIONS DE MNT DU BASSIN VERSANT DE MERGUELLIL

A partir du modèle numérique du terrain (MNT) du bassin versant de MERGUELLIL, un certain nombre de fichiers ont été calculés en utilisant le programme LAMONT. Il s'agit de fichiers géomorphologiques, fichiers géomorphométriques, fichiers hydrologiques, et les fichiers hydrométriques.

Le Modèle numérique calculé a les caractéristiques suivantes :

- *Taille* : 552 profils de 421 points.
- *Pas du MNT* : 130 mètres.
- *Unité du fichier en mètres* : 10 mètres.
- *Valeur minimale* : 176 mètres.
- *Valeur maximale* : 1209 mètres.
- *Nombre de mailles cotées* : 92665.
- *Surface couverte par le MNT* : 1566.04 Km².

A) LES FICHIERS GEOMORPHOMETRIQUES DU BASSIN VERSANT DE MERGUELLIL

1) LE FICHIER DES ALTITUDES

Le fichier des altitudes du bassin versant de MERGUELLIL fait partie des fichiers géomorphométriques créés en utilisant le logiciel LAMONT à partir du MNT de MERGUELLIL. Ce fichier a pour valeur minimale 176 m et pour valeur maximale 1209 m d'altitude et couvre une superficie de 1518.62 Km². Les classes d'altitudes établies à partir de la carte des altitudes sont comprises dans le tableau III.

TABLEAU III

Altitudes (m)	Couleur	Surface (Km ²)	% Surface	Valeurs des octets
A > 1000	rouge	31.89	2.10	203-254
1000 > A > 800	rouge - jaune	157.94	10.40	154-202
800 > A > 600	jaune	279.43	18.40	105-153
600 > A > 400	vert	546.70	36.00	056-104
400 > A > 300	bleu	294.61	19.40	031-055
300 > A > 176	bleu foncé	208.05	13.70	000-030

(Voir la carte N° 1 des altitudes).



Carte N° 1

Echelle : 0 12.9 Km

La carte des altitudes du bassin versant de Merguellil

2) LE FICHER DES PENTES

Le fichier des pentes a les caractéristiques suivantes :

- *Taille* : 552 profils de 421 points.
- *Pas du MNT* : 130 mètres.
- *Unité du fichier en mètres* : 10 mètres.
- *Valeur minimale* : 0 degrés.
- *Valeur maximale* : 81.1 degrés.
- *Surface couverte par le MNT* : 1518.62 Km².

Les classes de pentes établies à partir de la carte des pentes sont présentées dans le tableau IV.

TABLEAU IV

Pentes (°)	Désignation	Couleur	Surface (Km ²)	% Surface	Valeurs octets
P < 5°	Très faible	bleu	130.60	08.60	000-015
5° < P < 10°	Pente faible	vert	229.31	15.10	016-031
10° < P < 20°	Pente moyenne	jaune	441.92	29.10	032-062
20° < P < 30°	Pente forte	rouge - jaune	296.13	19.50	063-093
P > 30°	Très forte	rouge	420.66	27.70	094-254

(Voir la carte N° 2 des pentes)

3) LE FICHER DES EXPOSITIONS

Le fichier des expositions a les caractéristiques suivantes :

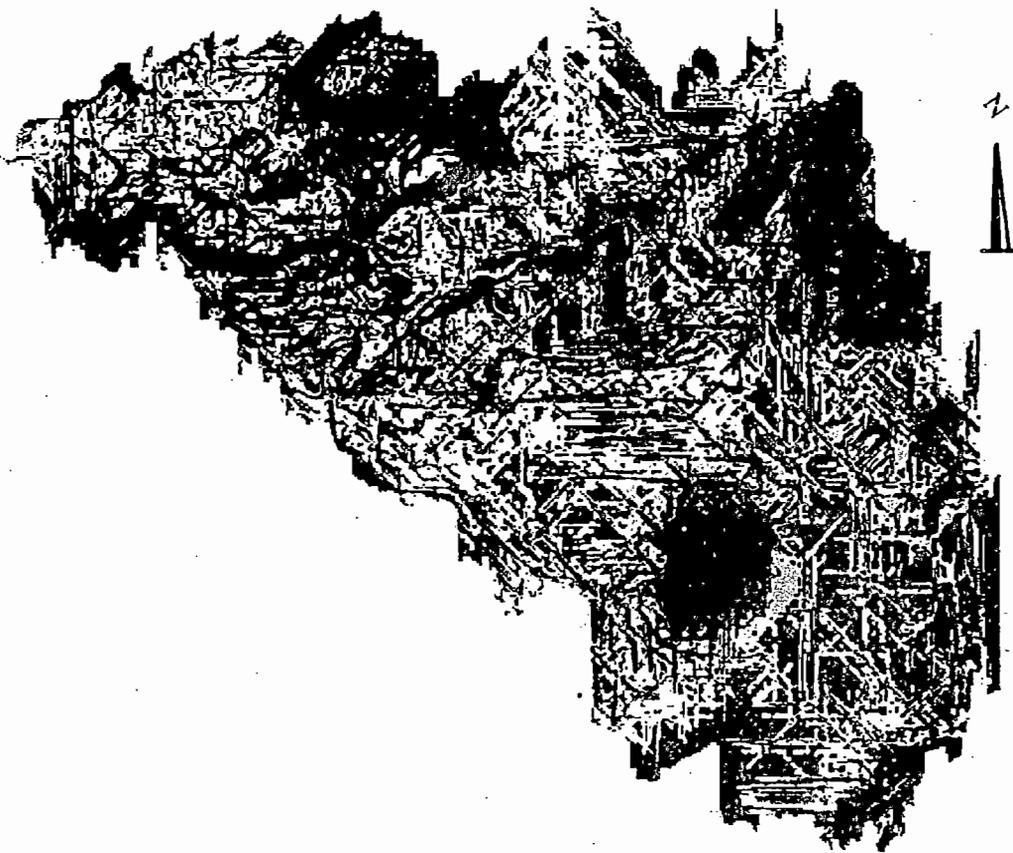
- *Taille* : 552 profils de 421 points.
- *Pas du MNT* : 130 mètres.
- *Unité du fichier en mètres* : 10 mètres.
- *Valeur minimale* : -1.
- *Valeur maximale* : 360.
- *Surface couverte par le MNT* : 1518.62 Km².

Les classes des expositions établies à partir de la carte des expositions sont dans le tableau V.

TABLEAU V

Orientations	Valeurs d'angle	Couleur	% Surface	Valeurs octets
Pas d'orientation	-1	bleu	00.40	000-000
Vers la gauche	0-90	vert	16.30	001-064
Vers le haut	90-180	jaune	28.60	065-127
Vers la droite	180-270	jaune - rouge	34.20	128-190
Vers le bas	270-360	rouge	20.60	191-254

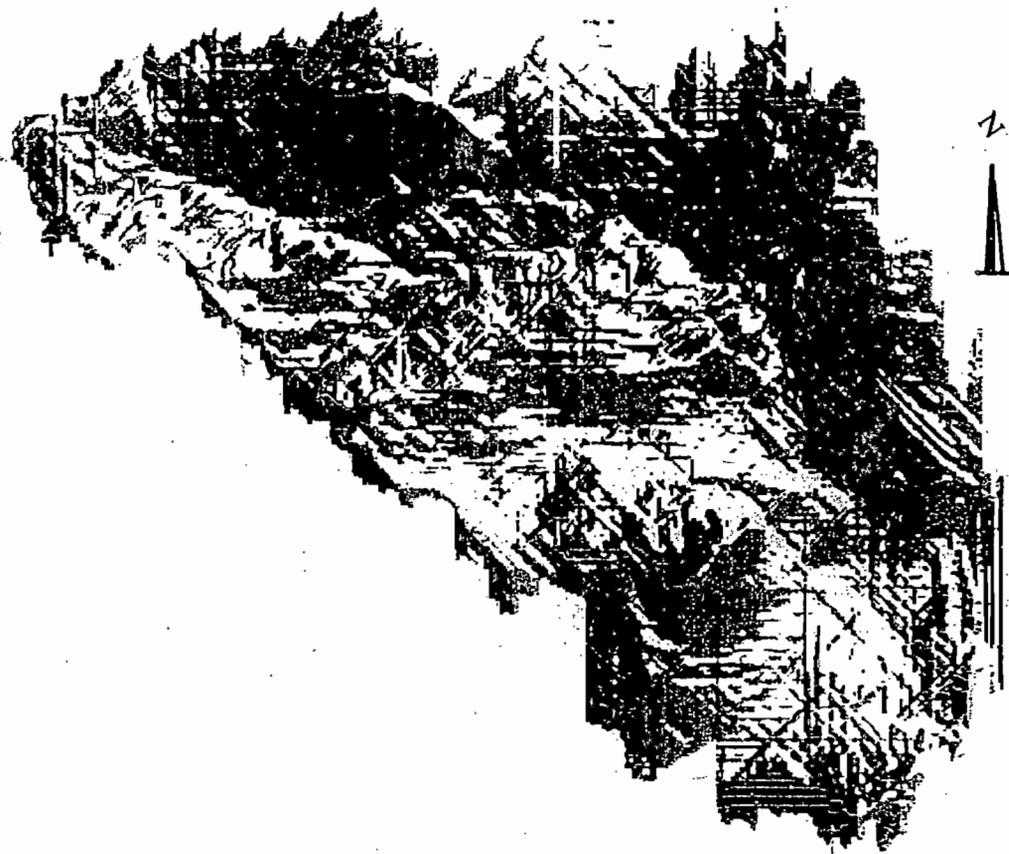
(Voir la carte N° 3 des expositions)



Carte N° 2

Echelle : 0 12.9 Km

La carte des pentes du bassin versant de Merguellil



Carte N° 3

Echelle : 0  12.9 Km

La carte des expositions du bassin versant de Merguellil

4) LE FICHER DES ENCAISSEMENTS

Le fichier des encaissements met en exergue les parties du bassin versant où il y a dominance des reliefs encaissés (valeurs négatives) et les parties où il y a dominance des reliefs encaissants (valeurs positives)

Le fichier des expositions a les caractéristiques suivantes :

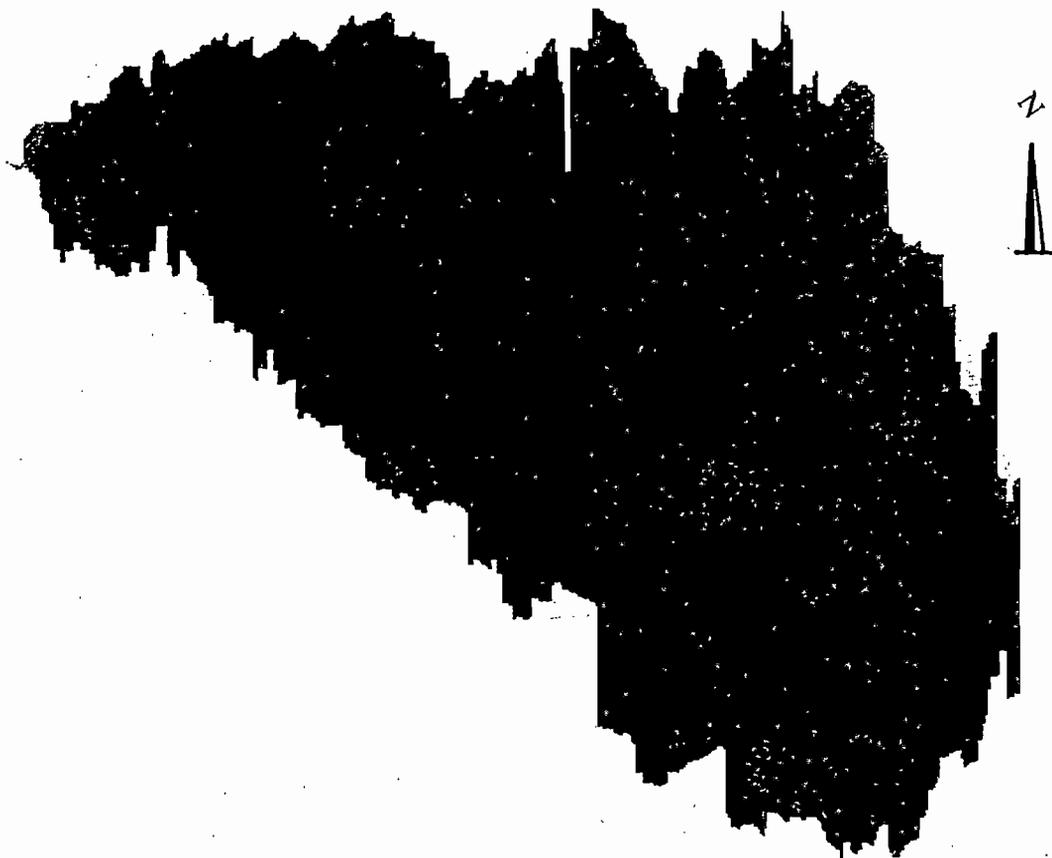
- *Taille* : 552 profils de 421 points.
- *Pas du MNT* : 130 mètres.
- *Unité du fichier en mètres* : 10 mètres.
- *Valeur minimale* : -478.
- *Valeur maximale* : 292.
- *Surface couverte par le MNT* : 1518.62 Km².

Les classes des encaissements établies à partir de la carte des encaissements sont dans le tableau VI.

TABLEAU VI

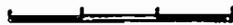
Encaissements	Valeurs	Couleur	% Surface	Valeurs de octets
relief encaissé	-478 à 0	bleu	48.50	000-157
relief encaissant	0 à 292	rouge	51.50	158-254

(Voir la carte N° 4 des encaissements)



Carte N° 4

Echelle : 0 12.9 Km



La carte des encaissements du bassin versant de Merguellil

B) LES FICHIERS GEOMORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT DE MERGUELLIL

Un seul fichier géomorphologique peut être créé en utilisant le logiciel LAMONT. Il s'agit du fichier des sites. Le fichier des site a les caractéristiques suivantes :

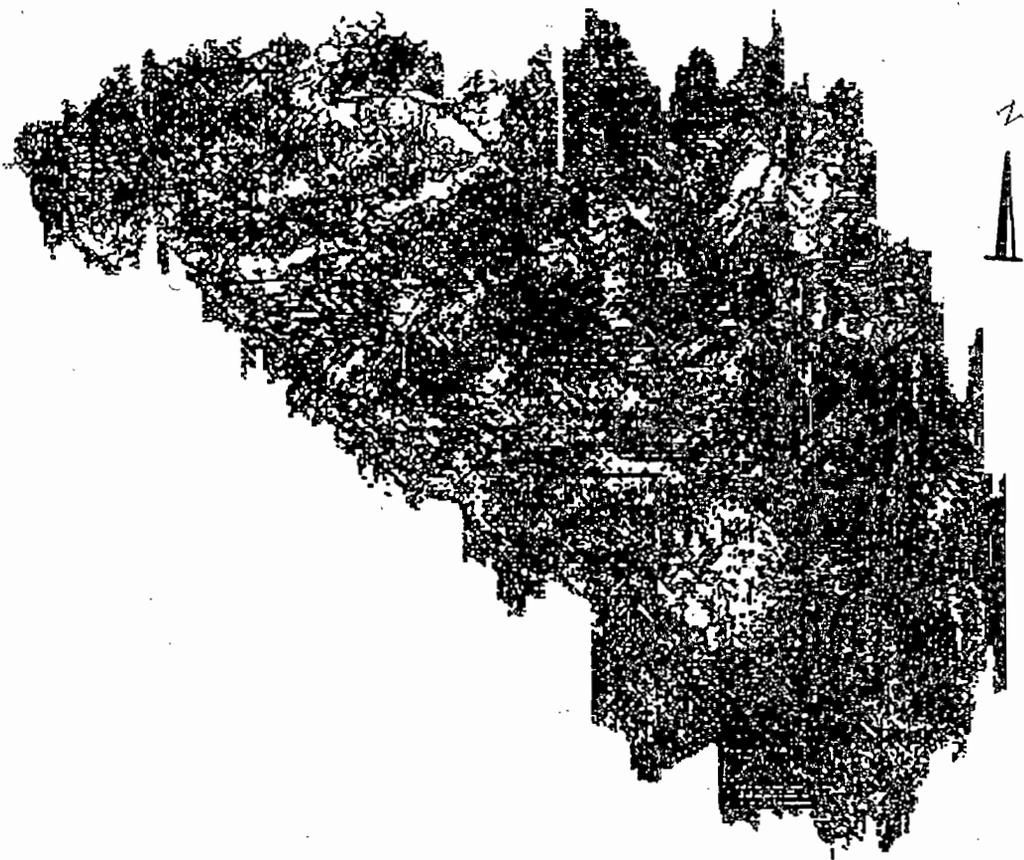
- ☒ *Taille* : 552 profils de 421 points.
- ☒ *Pas du MNT* : 130 mètres.
- ☒ *Unité du fichier en mètres* : 10 mètres.
- ☒ *Valeur minimale* : 0.
- ☒ *Valeur maximale* : 25.
- ☒ *Surface couverte par le MNT* : 1518.62 Km².

Les sites du bassin versant de MERGUELLIL sont dans le tableau VII.

TABLEAU VII

Sites	Valeurs	Couleur	Surface (Km ²)	% Surface	Valeurs d'octets
Sites dégagés	0-3	rouge	671.23	44.20	000-030
Versants	4	jaune	472.29	31.10	031-041
Sites encaissés	5-8	bleu	324.98	21.40	042-081
Cols	12-25	vert	050.11	03.30	082-254

(Voir la carte N° 5 des sites)



Carte N° 5

Echelle : 0 12.9 Km

La carte des sites du bassin versant de Merguellil

C) LES FICHIERS HYDROLOGIQUES DU BASSIN VERSANT DE MERGUELLIL

1) LE FICHER DE DRAINAGE

Le fichier de DRAINAGE a les caractéristiques suivantes :

- Pas du MNT : 130 mètres.
- Unité du fichier en mètres : 10 mètres.
- Valeur minimale : 0.
- Valeur maximale : 8.
- Surface couverte par le MNT : 1518.62 Km².

Les neuf cas possibles de drainage de notre bassin versant sont présentés dans le tableau VIII.

TABLEAU VIII

Drainage	Valeur	% Surface
Pas de drainage	0	00.00
Drainage vers le nord	1	12.70
Drainage vers le nord-ouest	2	06.70
Drainage vers l'ouest	3	09.50
Drainage vers le sud-ouest	4	08.30
Drainage vers le sud	5	17.80
Drainage vers le sud-est	6	15.50
Drainage vers l'est	7	17.90
Drainage vers le nord-est	8	11.50

Les anomalies rencontrés dans ce modèle de drainage ont été corrigées automatiquement en majeure partie. Ceci est dû au fait qu'il y avait un nombre très élevé de dépressions à corriger.

2) LE FICHER DE BASSINS VERSANTS

Le fichier de codes des bassins versant a pour extension NBV. Il contient des numéros de codes des bassins versant dans l'ordre dans lequel ils ont été trouvés lors du balayage de l'image. Un seul principal bassin de MERGUELLIL a été délimité couvrant en totalité une superficie de 1220.5 Km².(voir la carte N° 6).

Avec l'utilisation de LAM_BV, ces bassins ont été classés par ordre décroissant de superficie dans le fichier d'extension BV (voir la carte de bassins versant).



Carte N° 6

Echelle : 0 12.9 Km

La carte de bassins versant de l'oued Merguellil

D) LES FICHIERS HYDROMETRIQUES DU BASSIN VERSANT DE MERGUELLIL

1) LE FICHER DE DISTANCES A L'EXUTOIRE

Ce fichier des distances à l'exutoire nous donne les classes de surfaces comportant la même distance à l'exutoire. Le fichier des distances à l'exutoire a les caractéristiques suivantes :

- ▣ *Pas du MNT* : 130 mètres.
- ▣ *Unité du fichier en mètres* : 10 mètres.
- ▣ *Valeur minimale* : 0 Pas.
- ▣ *Valeur maximale* : 744 Pas.
- ▣ *Surface couverte par le MNT* : 1518.62 Km².

Ces classes sont comprises dans le tableau IX.

TABLEAU IX

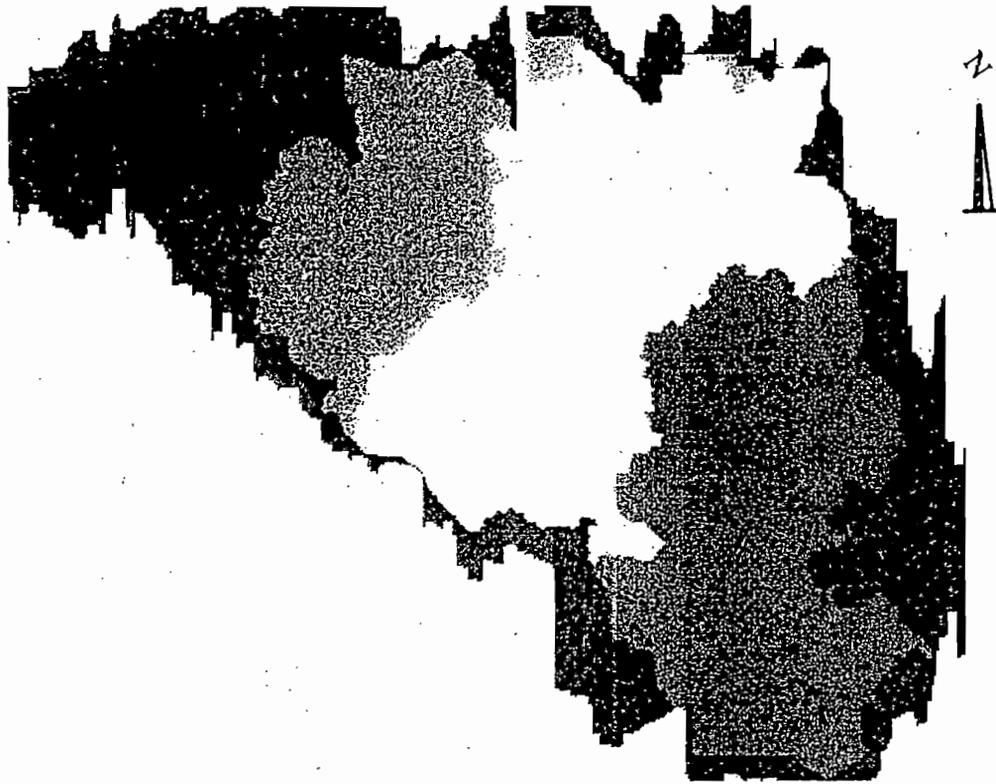
Classes (Pas du MNT)	Couleur	% Surface	Distances (Km)
146.5 > --- > 000	bleu	21.70	0-19
295.8 > --- > 149.4	vert	24.0	19-38
445.2 > --- > 298.8	jaune	27.7	38-58
594.6 > --- > 488.2	rouge - jaune	14.5	58-77
744 > --- > 597.5	rouge	12.1	77-96.7

(Voir la carte N° 7 des distances à l'exutoire)

N.B. La couleur bleue sur la carte concerne aussi bien les parties extérieurs au bassin versant que les parties avales de ce dernier. La distance à l'exutoire la plus extrême pour le bassin versant de MERGUELLIL est de 744 pas du MNT soit 96.72 Km.

2) LE FICHER DE LA LONGUEUR DES DRAINS

Le fichier de la longueur de drains nous donne le plus long drain passant par chaque maille en Pas du MNT se trouvant dans un bassin versant. La longueur du drain le plus long du bassin versant de Merguellil est 710 pas. D'autres fichiers hydrométriques ont été créés en vue de leur utilisation ultérieure pour la simulation des écoulements. Nous pouvons citer comme exemple le fichier des surfaces drainées (SBV).



Carte N° 7

Echelle : 0 12.9 Km

La carte de distances à l'exutoire du bassin versant de Merguellil

E) LES FICHIERS DES INDICES DE BEVEN

Les indices de Beven sont calculés pour les MNT dont la taille est inférieure à 300 profils de 200 points. Nous n'avons donc pas pu effectuer ce calcul pour le bassin versant de l'oued Merguellil.

CHAPITRE V- SIMULATION DES ECOULEMENTS A PARTIR DE MNT DU BASSIN DE MERGUELLIL

La simulation des écoulement se fait sur une entité appelée bassin versant. C'est pour cette raison que nous l'avons effectuée sur le bassin versant de Merguellil délimité, dans ce qui précède, dans le fichier de bassins versants. La simulation est effectuée en six étapes :

- La première étape consiste à fixer le seuil de surface drainée S_t au de là duquel le ruissellement s'effectue sous la forme d'un écoulement concentré en rivière.
- L'étape deux consiste en calcul de sous bassins associés au réseau défini auparavant.
- L'étape trois calcule la loi de pente du réseau, notamment les paramètres a et b tels que : $i = a^2 S - 2b$. Avec i la pente du lit du cours d'eau en un point considéré du réseau hydrographique à la surface S du bassin dont ce point est considéré comme l'exutoire.
- L'étape quatre calcule la loi de structure du réseau, notamment les paramètres M et K tels que : $T = MO + K$. Avec T le temps de transfert, et O l'ordre du réseau.
- L'étape cinq donne les résultats de la simulation : temps de réponse (T_r), le débit maximum spécifique (Q_{max}), un diagramme triangulaire, et le temps de base (T_b).
- La sixième étape consiste en la sauvegarde des fichiers calculés.

Pour ce bassin versant les résultats de la simulation sont donc les suivants :

A) LA LOI DES PENTES :

$$a = 0.138.$$

$$b = 0.099.$$

Le fichier contenant les pentes du réseau exprimées en millième de radians a les caractéristiques suivantes :

Pas du MNT : 130 mètres.

Valeur minimale : 10^{-3} radians.

Valeur maximale : $223 \cdot 10^{-3}$ radians.

Les statistiques relevées sur la carte des pentes du réseau hydrographique sont comprises dans le tableau X.

TABLEAU X

Pente radians(10^{-3})	Couleur	% réseau	les valeurs des octets
0-15	bleu	49.3	0-16
15.9-223	vert	50.7	17-254

(Voir carte N° 9 des pentes du réseau hydrographique du bassin de Merguellil)

B) LA LOI DE LA STRUCTURE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

$$M = 2.275.$$

$$K = 0.338.$$

C) L'HYDROGRAMME SIMULE :

$$T_r = 10 \text{ heures } 43 \text{ minutes } 26 \text{ secondes.}$$

$$T_b = 29 \text{ heures } 27 \text{ minutes } 17 \text{ secondes.}$$

$$Q_{\max} = 0.019 \text{ m}^3 / (\text{S.Km}^2) \text{ par mm ruisselé.}$$

Le fichier contenant les pseudo-temps de transfert utilisés pour l'estimation de la réponse impulsionnelle du bassin a les caractéristiques suivantes :

Pas du MNT : 130 mètres.

Surface du bassin : 1220.5 Km².

Valeur minimale : 3 secondes.

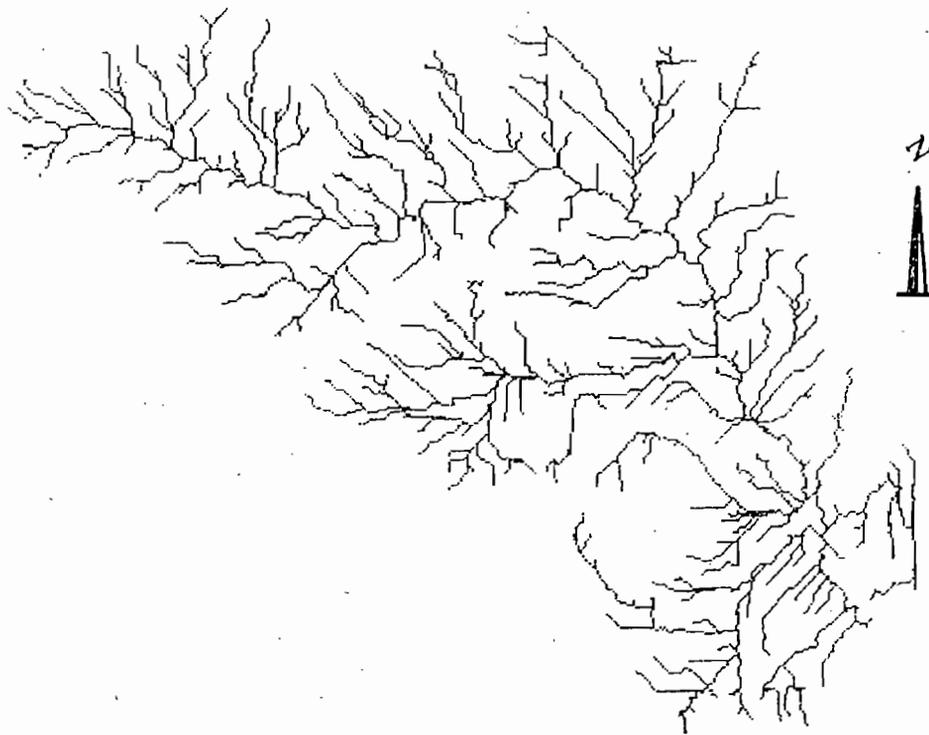
Valeur maximale : 2727 secondes.

Les statistiques relevées sur la carte des pseudo-temps de transfert de ce bassin sont dans ce tableau XI.

TABLEAU XI

Temps de transfert (s)	Couleur	% Surface	Valeurs des octets
2-539.2	bleu	6	0-50
549.9-1086.2	vert	28	51-101
1096.9-1633.1	jaune	33.3	102-152
1643.8-2180.1	rouge - jaune	18.4	153-203
2190.8-2727	rouge	14.3	204-254

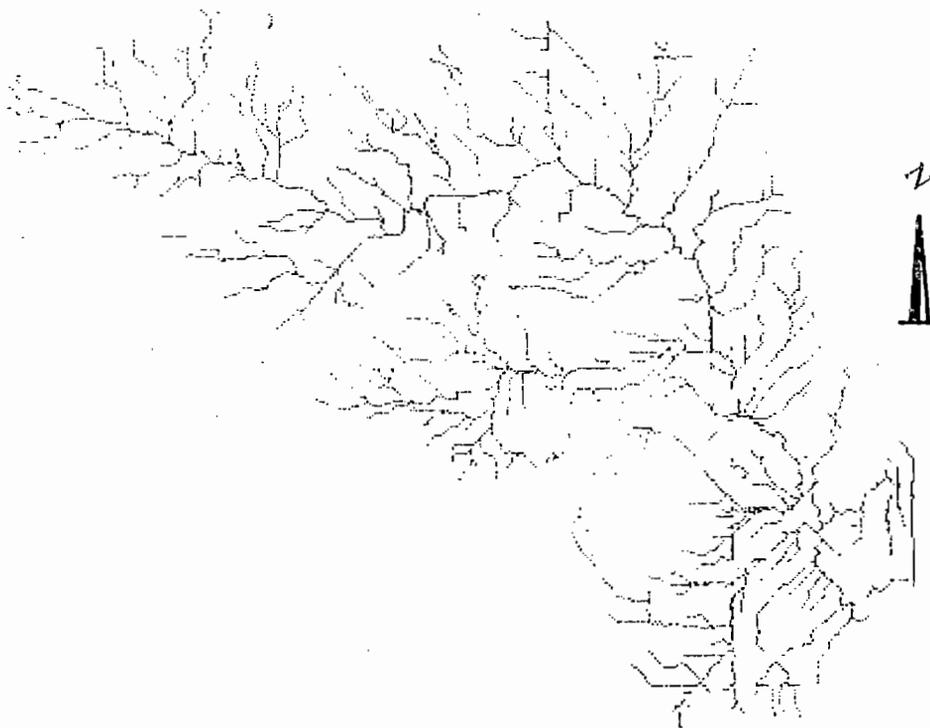
(Voir la carte N°10 des pseudo-temps de transfert pour le bassin de Merguellil)



Carte N° 8

Echelle : 0 12.9 Km

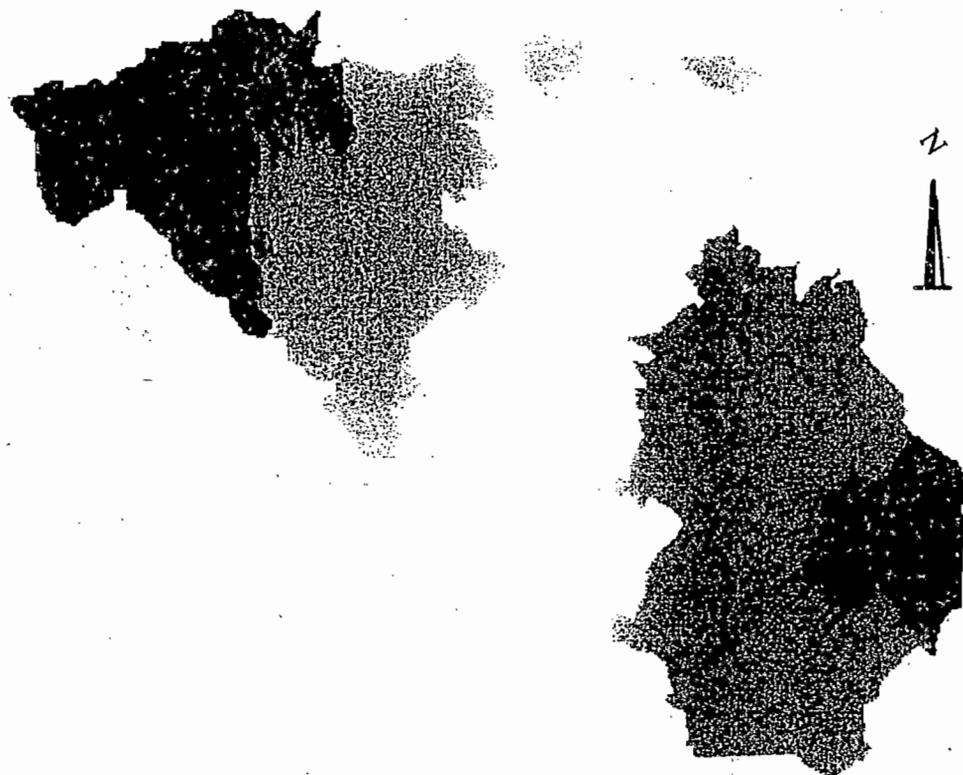
La carte du réseau hydrographique du bassin versant de Merguellil



Carte N° 9

Echelle : 0  12.9 Km

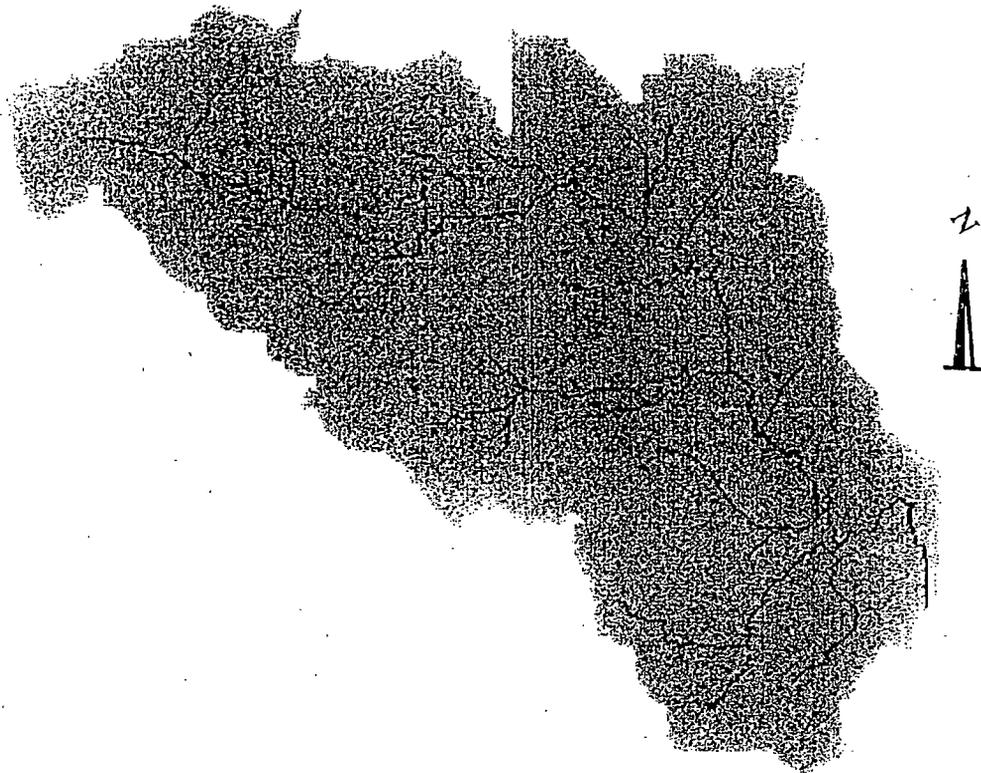
La carte des pentes du réseau hydrographique de bassin de Merguellil



Carte N° 10

Echelle : 0 12.9 Km

La carte des pseudo-temps de transfert du bassin de Merguellil



Carte N° 11

Echelle :



La carte de réseau hydrographique simplifié du bassin de Merguellil

CONCLUSION GENERALE

Le bassin versant de l'oued Merguellil dont le relief est relativement fort et de lithologie globalement sédimentaire est une région menacée par l'érosion. Cette perte en terre est due à sa végétation rabougrie par un climat aride au sud et semi aride vers le nord.

Afin de mieux connaître les caractéristiques géomorphologiques et hydrologiques de ce bassin versant, la chaîne DEMIURGE de production et de traitement des modèles numériques du terrain (MNT) a été utilisée pour produire son MNT. Ce modèle (MNT) de Merguellil a été calculé en réduisant au minimum le critère d'oscillations (à 9.85 %) qui est calculé en fonction d'artefacts morphologiques.

Ces artefacts auraient été beaucoup moindre si on avait pu procéder au lissage de ce modèle numérique du terrain après l'avoir calculé. Hélas cela n'a pas été fait parce que la taille du MNT dépasse la taille maximale d'un MNT susceptible d'être lissé par DEMIURGE. Il faut aussi signaler qu'on aurait eu un MNT plus conforme au terrain si l'équidistance entre les courbes numérisées était moindre. Ce qui serait possible avec les cartes à échelle plus grande, mais qui augmenterait la taille du MNT.

Les cartes issues de ce modèle numérique du terrain sont d'utilités diverses et plus ou moins conformes à la réalité. La carte des altitudes montre le relief moyennement fort du bassin tel qu'il est naturellement. Les altitudes sont comprises entre 174 m et 1209 m.

La carte des pentes indique que les pentes très fortes se situent au niveau des montagnes du bassin qui sont le Jebel BARBROU, le Jebel OUSSELAT et le Jebel TROZZA, sans oublier le haut plateau de KISRA.

La carte des sites nous montre la prédominance des sites dégagés et des versants sur ce bassin.

Sur le point de vue hydrologique, le MNT a permis de bien délimiter le bassin versant de Merguellil dont la superficie est estimée à 1220 Km² au lieu de 1120 Km² comme on le constate dans d'autres ouvrages. Cette surface est sensiblement égale à celle du même bassin délimitée manuellement sur la carte d'état Major (1230 Km²). Sur ce dernier une simulation des écoulements de surfaces a été effectuée et un réseau hydrographique (voir les cartes N° 8 et 11) semblable à celui qui existe réellement en est sorti.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

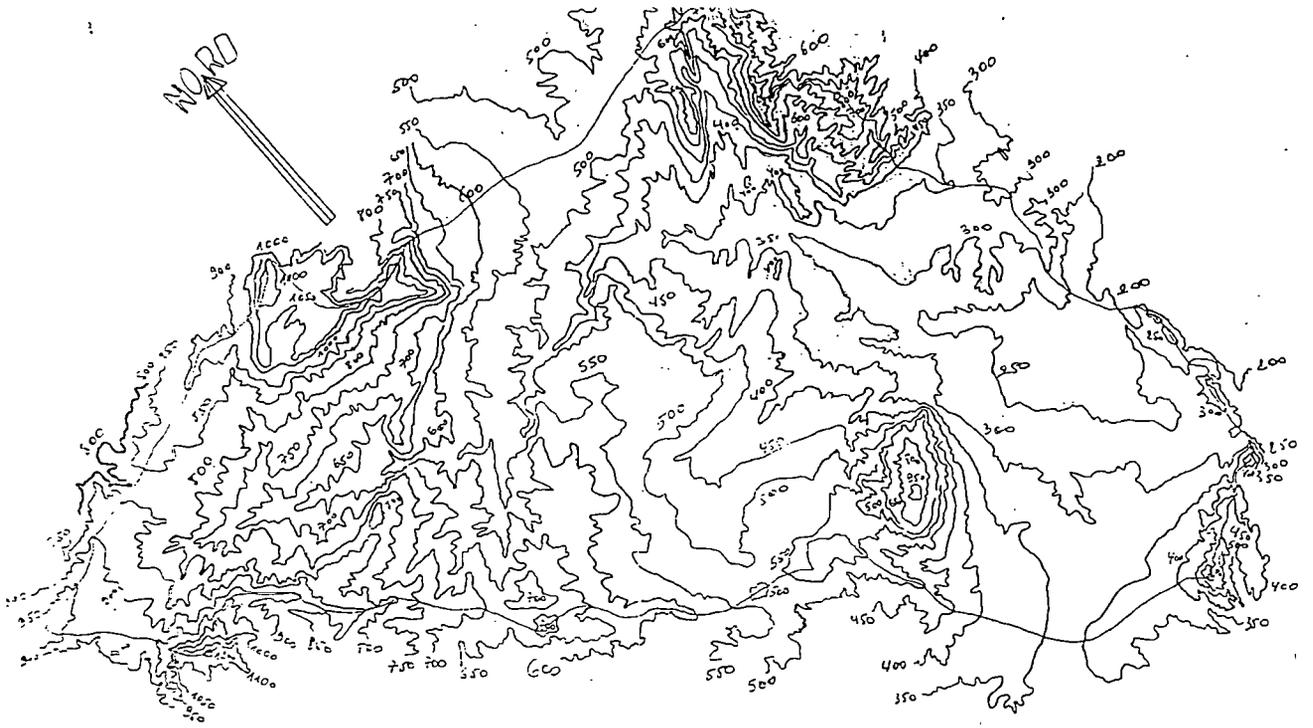
- BOUZAIANE S. & LAFORGUE A, Décembre 1986 : Monographie hydrologique des oueds Zeroud et Merguellil, DGRE - ORSTOM.
- CHRISTIAN DEPRAETERE, 1992 : Chaîne de production et de traitement de modèles numérique du terrain (DEMURGE 2.0), ORSTOM.
- CHRISTIAN DEPRAETERE, 1995 : Chaîne de production et de traitement de modèles numérique du terrain (DEMURGE 2.3), ORSTOM Montpellier.
- CHRISTIAN DEPRAETERE, 1995 : Chaîne de production et traitement des modèles numériques du terrain (DEMIURGE 2.3), Module de numérisation: T2 (version 1.0), ORSTOM - Montpellier.
- CHRISTIAN DEPRAETERE, 1995 : Chaîne de production et traitement des modèles numériques du terrain (DEMIURGE 2.3), module d'interpolation : OROLOG (version 1.2) ORSTOM - Montpellier.
- CHRISTIAN DEPRAETERE, 1995 Chaîne de production et traitement des modèles numériques du terrain (DEMIURGE 2.3), module de traitement des modèles numériques de terrain : LAMONT (version 3.0) ORSTOM - Montpellier.
- CHRISTIAN DEPRAETERE, 1995 : Chaîne de production et traitement des modèles numériques du terrain (DEMIURGE 2.3), module de simulation des écoulements à partir des modèles numériques de terrain : TOPASE (version 1.0), ORSTOM - Montpellier.
- ONIBON HUBERT, 1995 : Caractérisation des zones homogènes du bassin versant de l'oued EZ-ZIOUD à des fins de modélisation hydrologique : Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ESIER.
- DEROUICHE AMINE, 1994 : Tests et limites d'application d'un modèle numérique de terrain (MNT) de type DEMIURGE à des fins hydrologiques : Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ESIER.

- CHRISTIAN DEPRAETERE et FREDERIC MONIOD, 1991 : Contribution des modèles numériques de terrain à la simulation des écoulement dans un réseau hydrographique ORSTOM.

Annexes

ANNEXE 1

La carte N° 12 des courbes de niveau numérisées
du bassin Merguellil

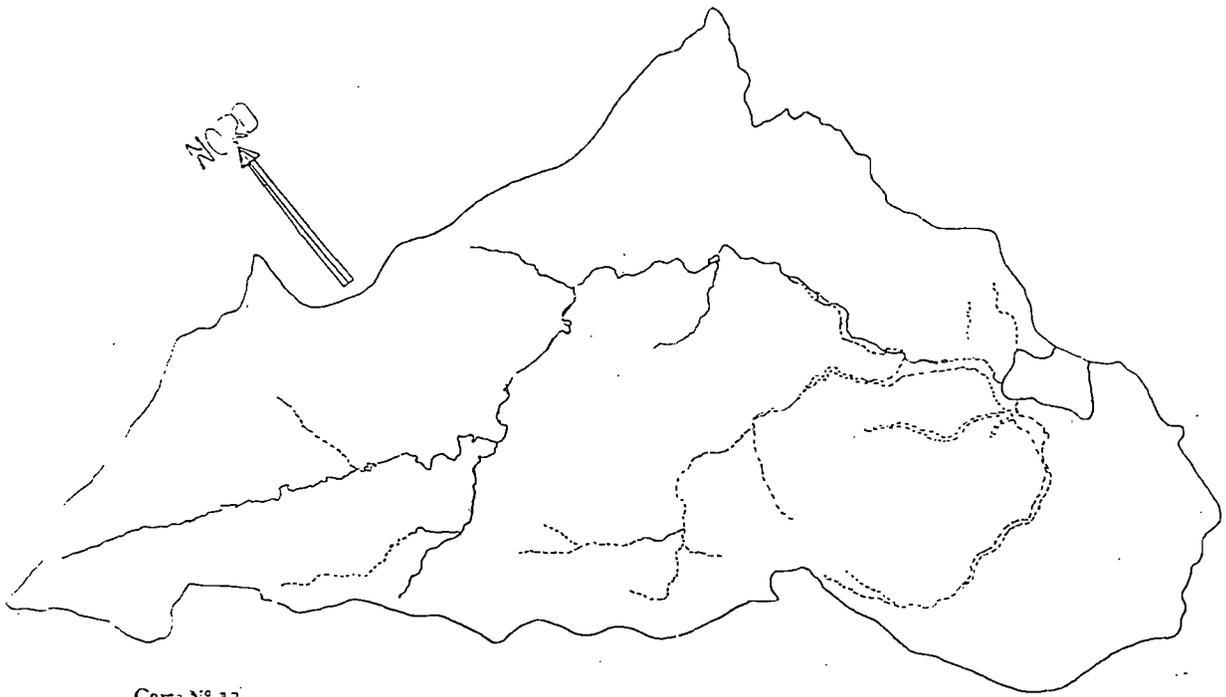


Carte N° 12

Echelle : 1/200.000

ANNEXE 2

La carte N° 13 du réseau hydrographique existant
dans le Bassin de Merguellil

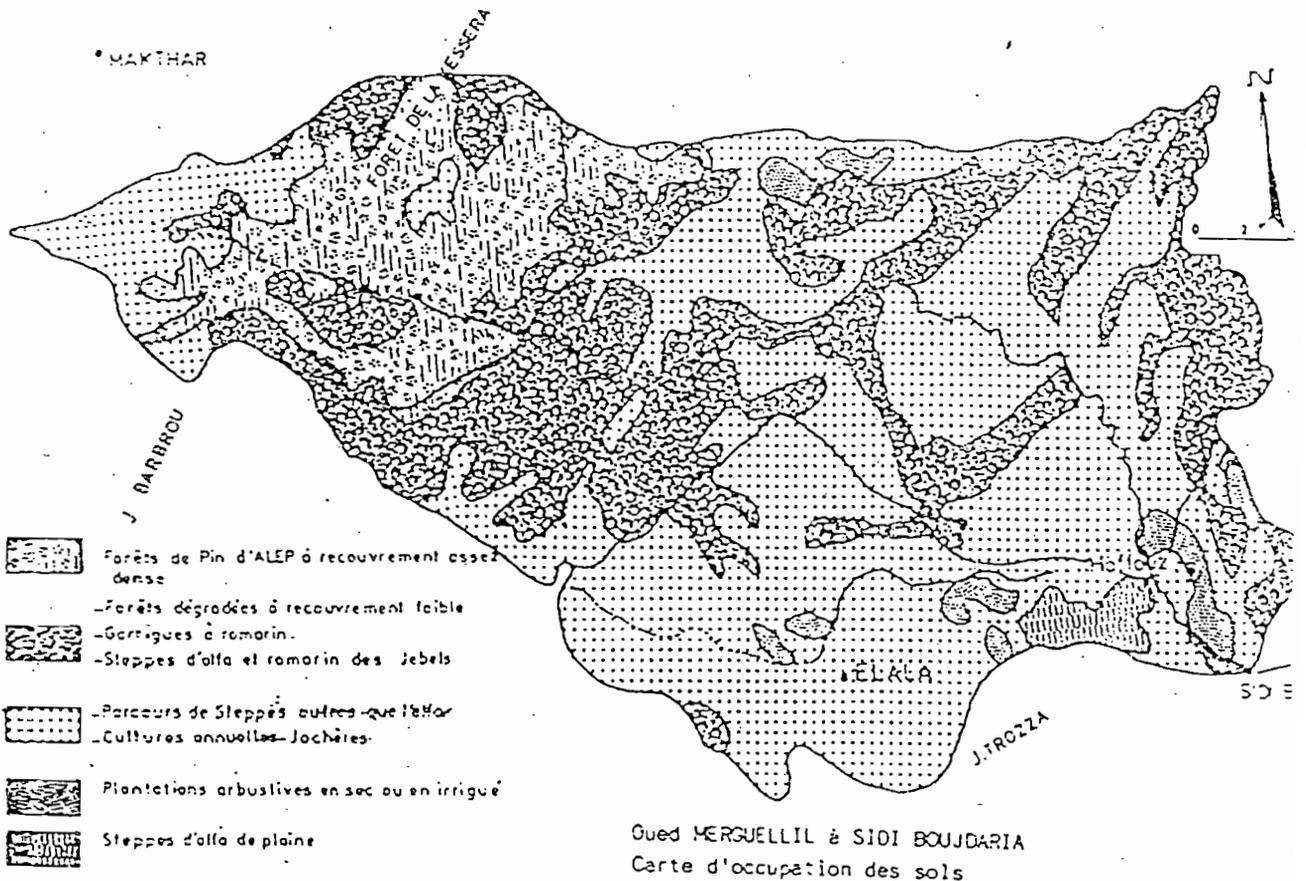


Carte N° 13

Echelle : 1/240.000

ANNEXE 3

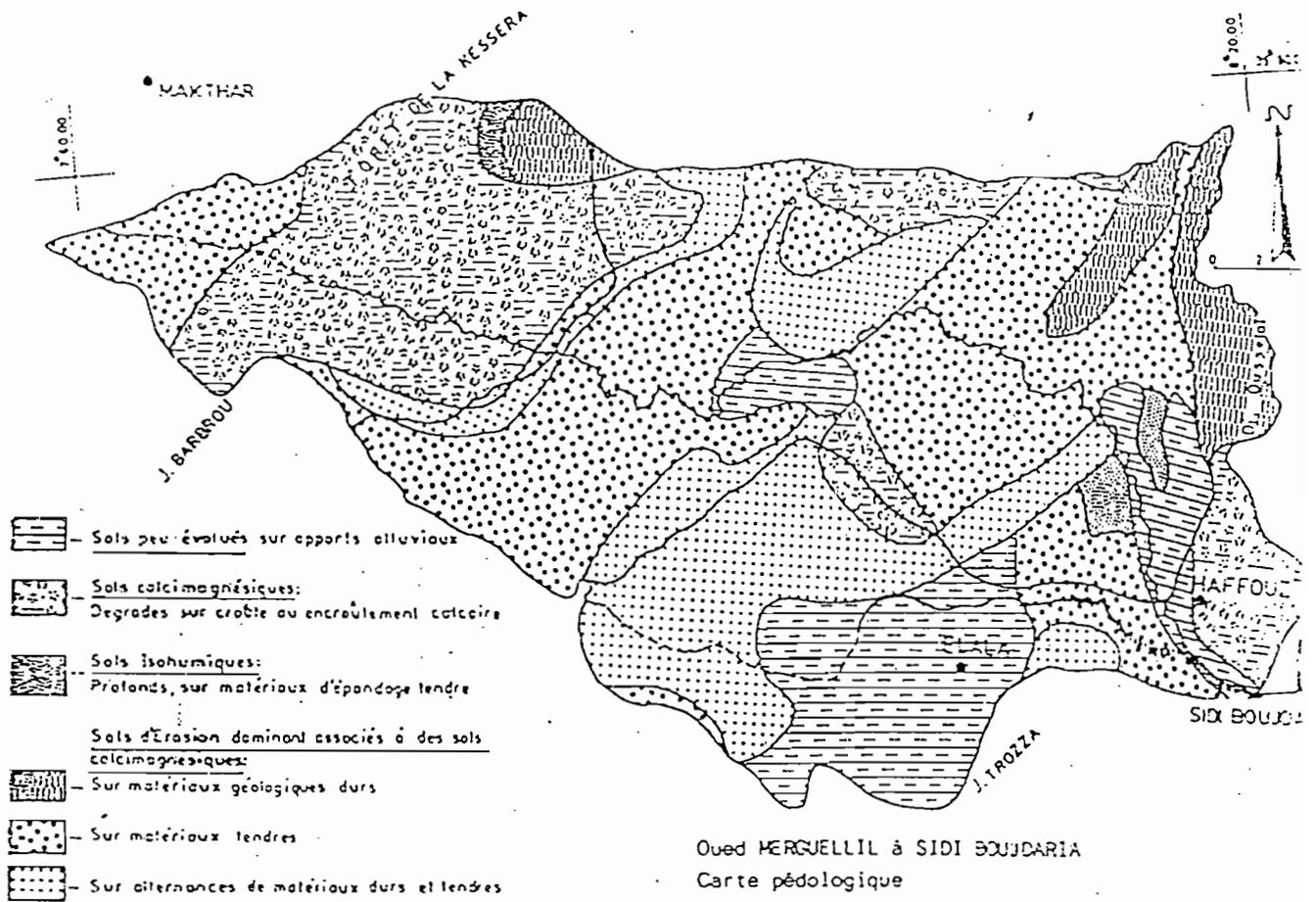
La carte N° 14 d'occupation des sols du bassin versant de
Merguellil à SIDI BOUJDARIA



Carte N° 14

ANNEXE 4

**La carte N° 15 des sols du bassin versant
de Merguellil à SIDI BOUJDARIA**



Carte N° 15

ANNEXE 5

La carte de situation du bassin versant de Merguellil

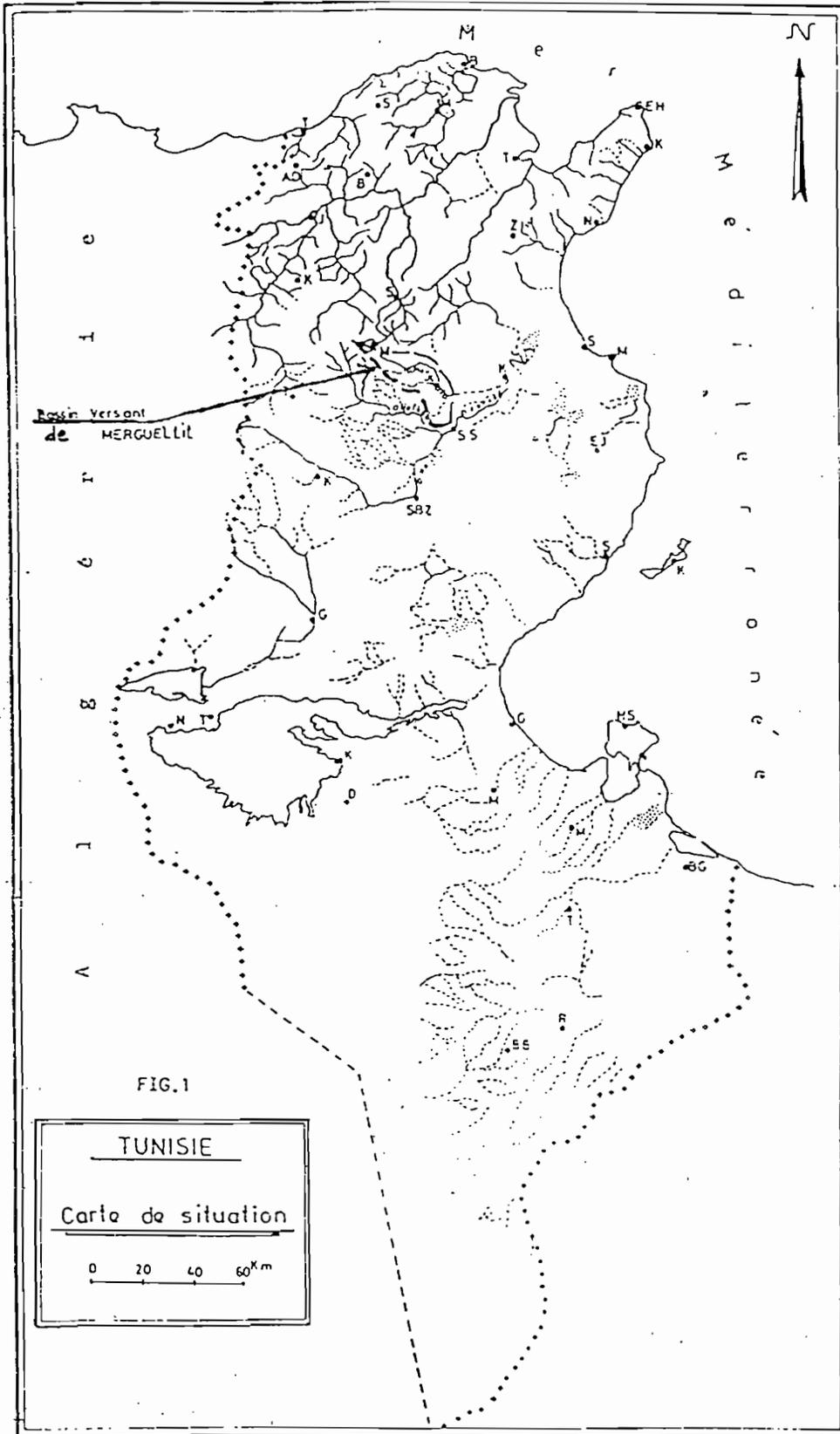


FIG.1

TUNISIE

Carte de situation

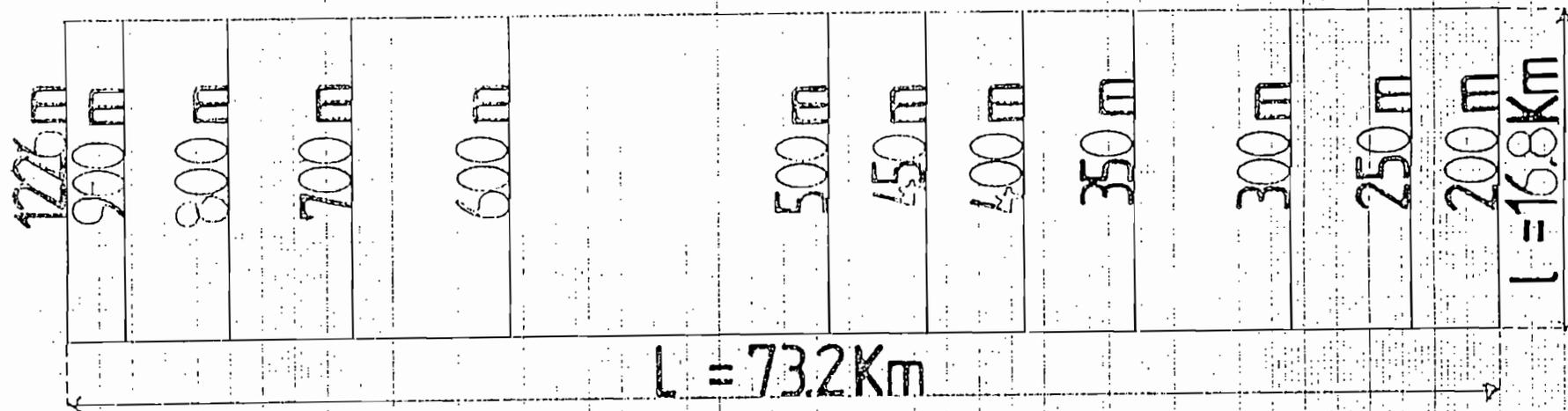
0 20 40 60 Km

ANNEXE 6

Le rectangle équivalent et la courbe hypsométrique
du bassin versant de Merguellil

Le rectangle équivalent du bassin de Merguellil

Figure 1



La courbe hypsométrique du bassin de Merguellil

Figure 2

