

MODELES NUMERIQUES ALTIMETRIQUES
LIGNES CARACTERISTIQUES
G. GROS - Délégué Général de l'ISTED - FRANCE
Président de la Commission B
ORGANISATION EUROPEENNE D'ETUDES
PHOTOGRAMMETRIQUES EXPERIMENTALES

Les différents types de modèles numériques couramment utilisés et les méthodes d'interpolation qui les accompagnent ne répondent pas encore à tous les besoins induits par l'automatisation toujours plus poussée dans les domaines techniques de l'aménagement.

L'estimation des cubatures d'un projet routier est grandement influencée par la répartition des points vis-à-vis des variations du relief. Il peut en résulter sur certains profils en travers des différences de 10 à 50% et par cumul, de profil en profil, des erreurs importantes de cubature.

De même, la pertinence d'une analyse automatique des composantes visuelles d'un site dépend des modèles capables de discriminer les éléments qui charpentent le paysage dans lequel viendra s'inscrire l'ouvrage.

La confection de modèles en géologie de l'ingénieur ne peut être envisagée sans le support d'un modèle orographique traduisant la configuration et la structure du terrain ainsi que ses relations avec les couches sous-jacentes.

On pourrait encore citer les études d'hydrologie de surface, de ruissellement et, d'une façon générale, de morphométrie.

C'est en fait, pour de nombreuses applications, une nécessité d'exprimer la morphologie du terrain dans ses traits essentiels et appropriés (5).

Intéressé par ces questions, un groupe français s'est penché sur l'exploitation des modèles numériques de terrain dans le but d'extraire les éléments morphologiques considérés comme remarquables par la position particulière qu'ils occupent et les propriétés mathématiques qui peuvent leur être attachées.

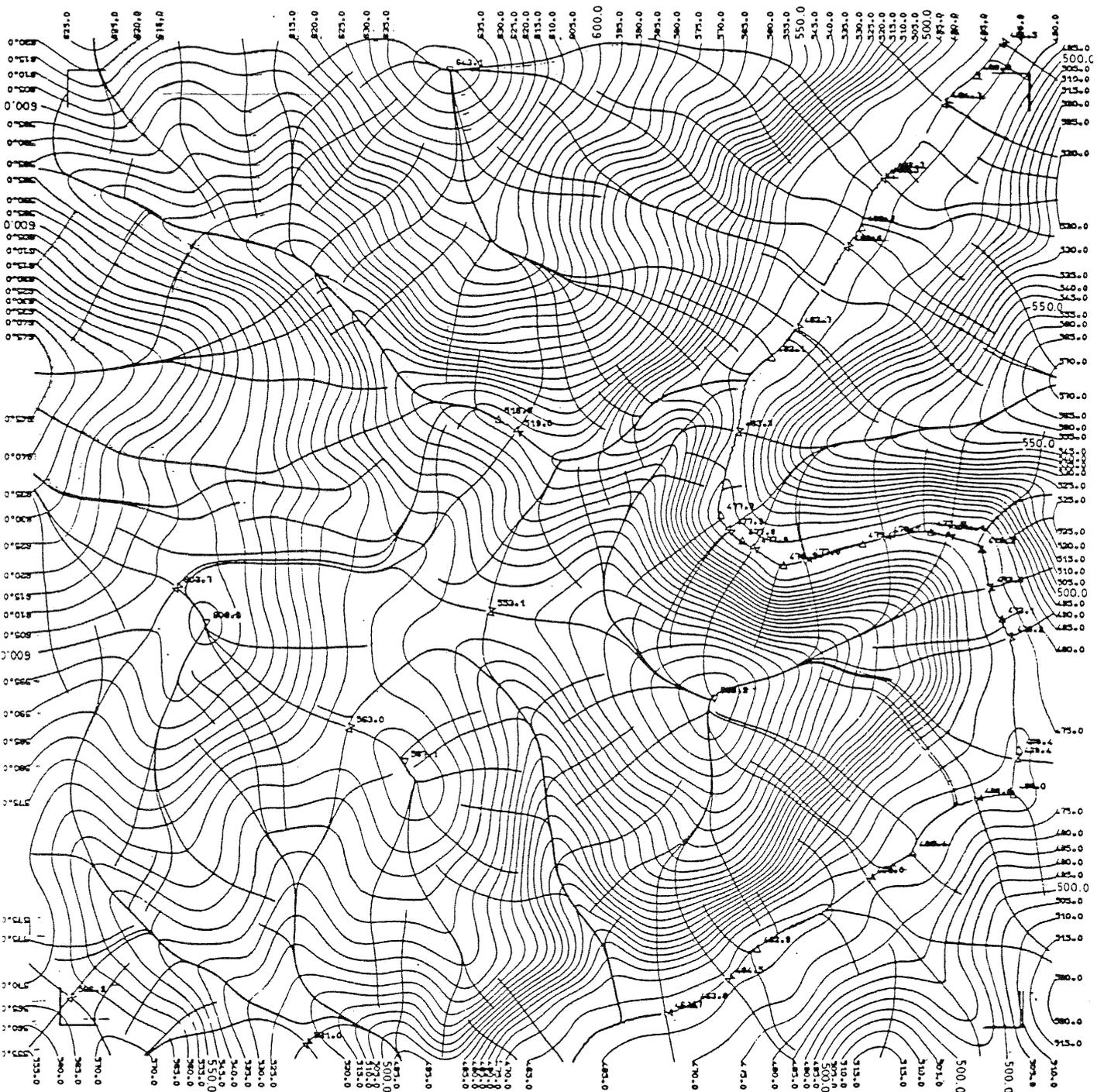
I. L'APPROCHE ANALYTIQUE DU GROUPE FRANCAIS

Composé de représentants du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), de l'Institut Géographique National (IGN), du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), de l'Institut Français du Pétrole (IFP) et du Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), ce groupe s'est essentiellement consacré à la mise en oeuvre des propositions de MM. DUFOUR (IGN) et ABGRALL (SHOM). Il s'agissait de représenter le terrain par une fonction $Z = H(x,y)$, dérivable une, deux ou trois fois, supposée définie dans un certain domaine par un polynôme à deux variables.

Pour cela il a été admis :

1) qu'en tout point $O(x_0, y_0)$, il était possible d'obtenir une expression de l'altitude au voisinage de ce point, sous la forme d'un développement de

NOIRETABLE (1/5000)



(Lignes de pente sélectionnées)

Taylor :

$$Z = Z_0 + ax + by + \frac{1}{2}c(x^2 + 2dxy + ey^2) + \frac{1}{6}(fx^3 + 3gx^2y + 3hxy^2 + ky^3)$$

2). qu'il pourrait y avoir des discontinuités au passage d'un développement de polynôme à un autre.

En posant Z_0 , l'altitude du terrain au point 0 :

. La courbe de niveau de cote Z_0 , passant au point 0, a pour équation implicite : $0 = ax + by + \frac{1}{2}(cx^2 + 2dxy + ey^2) + \dots$

. La pente $\vec{P} = \text{grad}(Z)$ a pour expression générale

$$A = a + cx + dy + \frac{1}{2}(fx_2^2 + 2gxy + hy_2^2)$$

$$B = b + dx + ey + \frac{1}{2}(gx_2^2 + 2hxy + ky_2^2)$$

avec $P = \|\vec{P}\|$ dont la valeur en 0 est $p = \sqrt{a^2 + b^2}$

. La courbure χ_p de la courbe tangente en chaque point 0 au vecteur \vec{P} qui passe par ce point s'écrit $\chi_p = \frac{d(a_2^2 - b_2^2) + ab(e-c)}{(a^2 + b^2)^{3/2}}$

. La courbure χ_N de la courbe de niveau au point 0 s'écrit

$$\chi_N = \frac{2dah - cb_2^2 - ea^2}{(a^2 + b^2)^{3/2}}$$

Sur ces bases un exemple a permis de montrer que les lignes formées par l'ensemble des points de courbure nulle se confondaient dans leur élément rectiligne avec les lignes de talweg et de crête mais ne faisaient pas apparaître les confluent et les noeuds de crêtes.

Constatant ces difficultés et remarquant que la confluence des talwegs pouvait être représentée sous la forme de deux filets dont la distance de l'un à l'autre est négligeable, M. DUFOUR a été conduit à proposer que les talwegs et les crêtes résultent de lignes de pente sélectionnées par le fait d'un tracé respectant certains critères (fig 1).

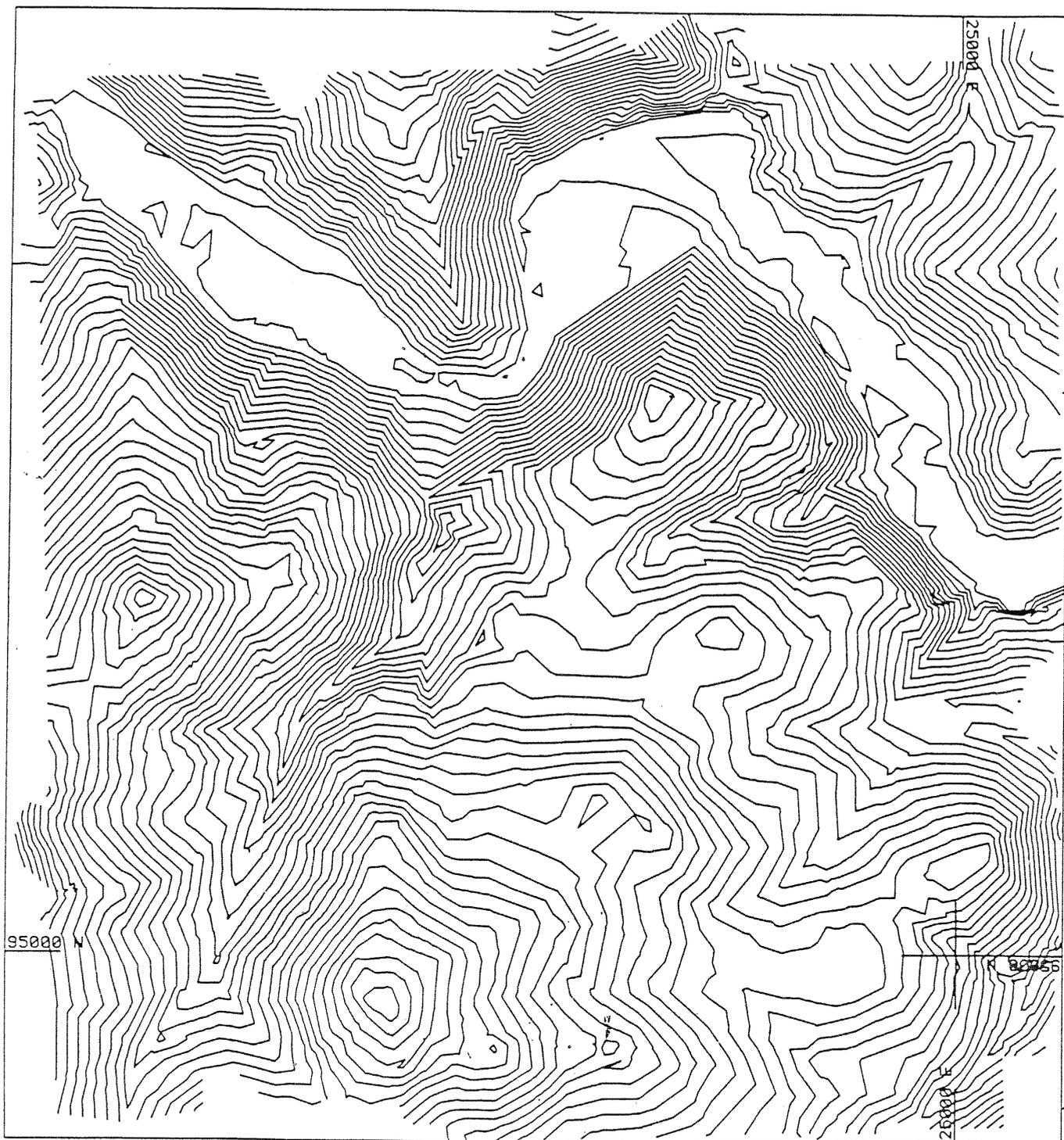
Par ces travaux, il était mis en évidence que l'extraction automatique de certains éléments remarquables du terrain pouvait être le point de départ de la décomposition du terrain en compartiments correspondant à la structure même du domaine à cartographier (4).

Il s'ensuit que de tels résultats peuvent rejaillir sur les questions d'échantillonnage des points de mesure et d'élaboration des modèles numériques. Questions qui sont par ailleurs directement liées aux moyens dont dispose la photogrammétrie (5).

II. LE CADRE DE LA REFLEXION DE LA COMMISSION B DE L'OEEPE.

Partant de ces considérations, il a été confié à la commission B de l'OEEPE le soin de poursuivre la réflexion entamée par le groupe français au travers d'expérimentations portant sur l'échantillonnage des points de mesure et la saisie des lignes caractéristiques, d'une part, et l'extraction automatique des éléments remarquables, d'autre part.

Composée de représentants de l'Institut Géographique National Belge (M. LOODTS), de l'Institut de Géodésie de Florence (M. AMMANNATI), de l'ITC (M. TEMPFLI), du Ministère des Transports Néerlandais (M. NELIS), de la Société STORY & PARTNERS du Royaume Uni, de l'Institut Géographique National Français (MM. DUFOUR & JULIEN), du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine Français (M. ABGRALL) et du Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (G. GROS), la commission B de l'OEEPE a fixé un plan d'expérimentations susceptible d'apporter des éléments à la réflexion



Courbes de niveau obtenues à partir du fichier des lignes caractéristiques (SF) et du maillage de densité variable (CS)

FIG.2

qui lui était demandée d'approfondir. A Cette fin, la commission a jugé utile de retenir le site de Noirétable (LOIR et CHER - FRANCE - Feuille 273 Est NOIRETABLE, St Martin la sauveté à 1/25000). C'est à dire celui qui avait servi de support aux expérimentations du groupe français. Il s'agit d'un site de difficulté moyenne comprenant notamment quatre sommets et deux cols principaux ainsi qu'un talweg fortement encaissé mais faiblement incliné. En outre, les pentes sont en certains points supérieures à 100% (fig. 1).

La réflexion de la commission a été organisée autour de quatre aspects particuliers :

- . saisie par photogrammétrie des lignes caractéristiques du terrain ;
- . échantillonnage des points de mesure ;
- . extraction automatique des éléments remarquables du terrain ;
- . amélioration des méthodes d'élaboration des modèles.

III. EXPERIMENTATIONS

Des expérimentations ont été effectuées à partir de données spécialement saisies à cet effet par photogrammétrie à l'Institut Géographique National Français au moyen du "Traster".

Les données ont été extraites d'une zone de 12 km² contenue dans un seul couple stéréoscopique équipé de six points. Le couple a été obtenu à l'échelle du 1/30000 avec une chambre 15 u AG-417 de focale 152,549 le 16 octobre 1977 entre 13h47 et 14h18 à une altitude au sol de 4.560 m par rapport au relief et de 5.190 m par rapport à la mer.

Plusieurs fichiers de données ont été constitués :

- . un fichier de courbes de niveau (CN) équidistantes de 5 m couvrant la zone de travail (35.000 points) ;
- . un fichier correspondant à un maillage régulier (MR) d'un pas de 30 m sur une portion de 4 km², soit 5.625 points (75x75) ;
- . un fichier correspondant à un maillage quasi-régulier (MQR) d'un pas moyen de 40 m sur une portion de 9 km², soit 6.724 points (82x82), afin d'éviter la saisie de points aberrants dûs au couvert végétal. Pour cela, la saisie a été réalisée dans un rayon de 25 m autour de chaque noeud d'une grille fixe d'un pas de 40 m en demandant à l'opérateur de retenir les points situés dans les clairières, fonds de talweg, crêtes, confluent, ruptures de pente...

III.1 - Saisie photogrammétrique des lignes caractéristiques.

Les services de l'ITC ont assuré sous la conduite de M. TEMPFLI la saisie photogrammétrique au moyen d'un planimat de 600 points définissant des lignes caractéristiques telles que crêtes, talwegs, ruptures de pente, etc... C'est le fichier SF (fig.2).

Par opposition à la saisie des lignes de niveau et des noeuds des mailles, l'absence de tout systématisme lors de la saisie rend celle-ci particulièrement délicate. En effet, ces lignes forment un réseau intriqué dont la position des noeuds de crêtes et des confluent de talwegs reste approximative, le même point devant être levé plusieurs fois. Or, comme l'on sait, les appareils de photogrammétrie ne laissent, sur les clichés, aucune trace des points saisis. Seul le traceur asservi à l'appareil de restitution permet de dessiner sur un support particulier les éléments à mesure de leur saisie.

Par ailleurs, faute d'une définition qualitative de ces lignes, leur sélection implique l'interpolation préalable des clichés, conduisant par exemple à préparer un fond de plan servant à la fois de guide et de contrôle à l'opérateur. Toutefois, il convient de remarquer que cette préparation assez simple pour les crêtes et talwegs est bien plus longue pour les lignes définissant les changements de pente.

III.2 - Echantillonnage des points de mesure.

Quelle densité de points de mesure faut-il retenir pour qu'un modèle numérique maillé représente le terrain avec une précision imposée.

Telle est une des questions essentielles que se posent tous les services en charge de l'élaboration de modèles numériques de terrain.

Bien que cette question ne soit pas de la compétence de la commission B de l'OEEPE, il a semblé utile de l'aborder sous l'angle de l'apport éventuel des lignes caractéristiques à la généralisation automatique des planches altimétriques des cartes topographiques.

Autrement dit, dans cette perspective, quel type d'information serait-il souhaitable d'utiliser : courbes de niveau numérisées à une échelle supérieure, maillage allégé, lignes caractéristiques du terrain, voire une combinaison de ces informations?

Des courbes de niveau ont été calculées à partir de modèles élaborés selon des échantillonnages différents. La comparaison de ces courbes à celles obtenues par restitution photogrammétrique fournit quelques éléments de réponse aux questions posées.

III.2-1 Composite sampling (échantillonnage de densité variable)

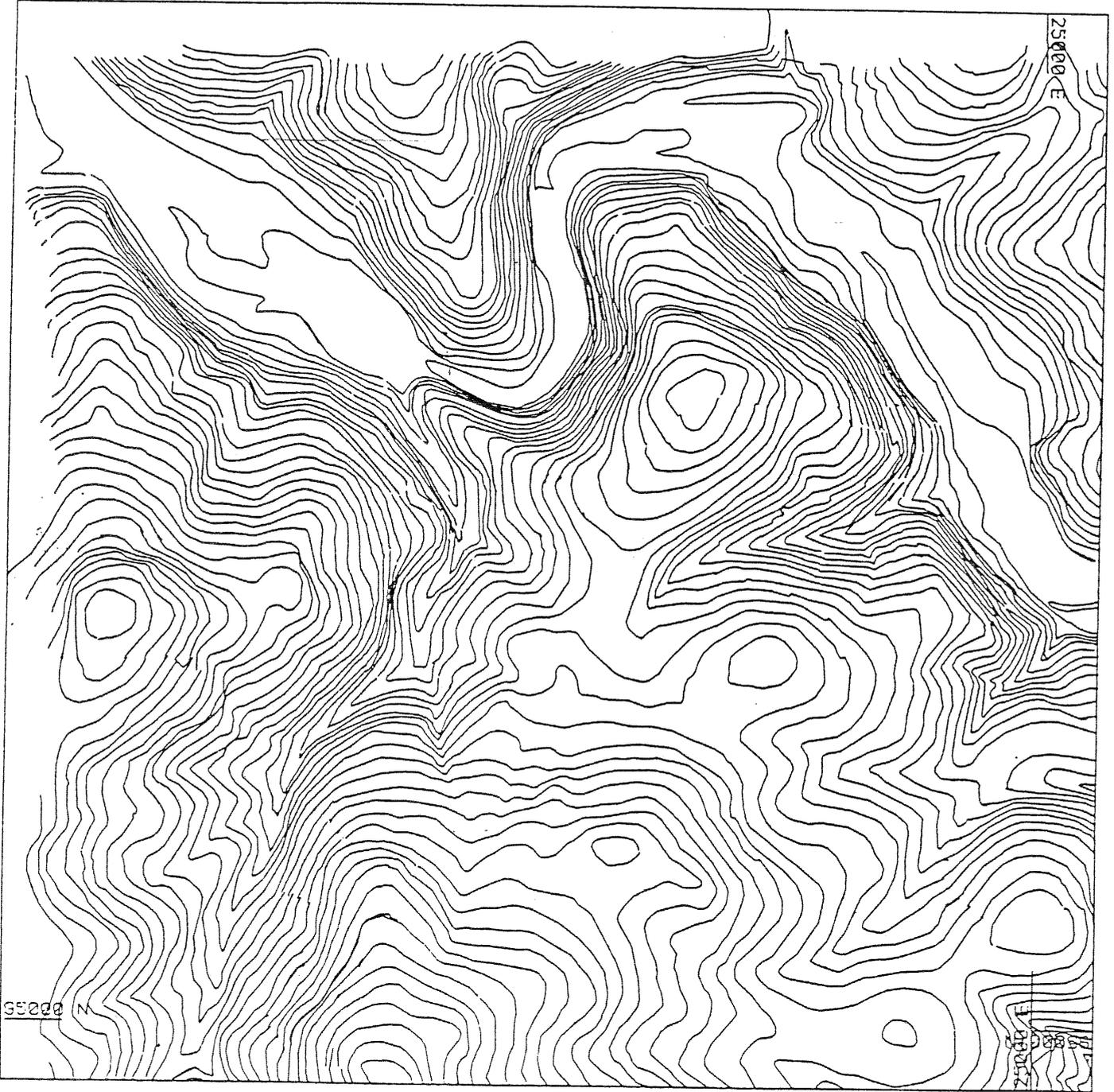
L'intérêt de cette méthode réside dans la possibilité de réduire la redondance de l'information lorsque les sites présentent des mouvements de relief très hétérogènes.

Selon la méthode décrite par MAKAROVIC (7), M. TEMPFLI (ITC) a procédé directement à partir du couple stéréoscopique à l'établissement d'une grille à pas variable. Le pas de cette grille est divisée par deux chaque fois que la différence d'altitude entre deux points successifs est supérieure à un seuil donné. Ainsi est-il créé automatiquement des sous-maillages venant resserrer le réseau dans les zones accidentées. L'application sans discernement de cette méthode sur la totalité d'un site pourrait conduire à une densification excessive du maillage dans les zones très accidentées. Pour cette raison, il a été nécessaire de localiser par photo-interprétation de telles zones afin de les exclure de la saisie du maillage. Finalement c'est un maillage de 1.600 noeuds qui a été levé par cette méthode (fig.2).

III.2-2 Réduction de l'information

L'élaboration des modèles numériques de terrain comportent généralement deux étapes principales :

- saisie des courbes de niveau constituant l'information initiale à partir de laquelle le modèle maillé est calculé. Les courbes de niveau proviennent de la numérisation opérée soit, lors de la restitution, soit, à posteriori. La numérisation, notamment lors de la restitution, conduit à l'archivage d'un très grand nombre de points afin de traduire, avec beaucoup de détails, un contour aussi fidèle que possible.



IGNIDUN

FIGURE 3

Courbes de niveau obtenues à partir
du fichier réduit CNR

- calcul du modèle maillé à partir-dès-courbes de niveau numérisées. Les calculs sont d'autant plus longs que la maille unitaire est petite.

Il s'ensuit que la réduction de l'information peut porter, d'une part, sur l'information initiale et, d'autre part, sur le maillage lui-même.

III.2-2-1 Réduction de l'information initiale

La réduction de l'information initiale -c'est à dire de l'information fournie par les courbes de niveau restituées- par suppression systématique de mesures est un moyen pour diminuer l'échantillonnage en vue de la production d'une expression numérique ou graphique généralisée d'un site. C'est ce qu'a tenté M. NELIS (Département de Topographie Rykswaterstaat - PAYS BAS) sur une portion de 2 km x 2 km.

- Fichier initial des courbes de niveau

Le fichier initial des courbes de niveau composé de 35.000 points saisis par restitution photogrammétrique a été réduit à environ 8.000 points par suppression systématique de proche en proche de tous les points situés à l'intérieur d'un intervalle de 1,25m de côté soit 0,1 m/m à l'échelle du 1/12500. L'expression des courbes de niveau à partir de ce fichier réduit (CNR) reste très acceptable (fig.3).

- Appréciation de la précision des différents modèles

De nombreuses méthodes existent pour comparer l'expression numérique de plusieurs modèles (9). On peut, par exemple, construire automatiquement des profils topographiques et calculer la différence en chaque point de ces profils avec ceux des profils obtenus à partir du modèle de référence. C'est ce qu'a réalisé M. NELIS à l'aide du système MOSS qui donne la possibilité de calculer automatiquement par interpolation linéaire des profils topographiques, puis d'estimer automatiquement, par rapport à chaque point du profil de référence, la moyenne et la variance des différences. Il convient de signaler que le système MOSS décompose chaque modèle en un ensemble de facettes triangulaires adjacentes à partir desquelles les profils topographiques sont calculés par interpolation linéaire (3).

C'est le fichier initial des courbes de niveau (CN) qui a été retenu pour modèle de référence. Les comparaisons ont été effectuées pour le fichier des courbes de niveau réduites (CNR), le maillage régulier d'un pas de 30 m (MR), le maillage quasi-régulier d'un pas de 40 m (MQR), les lignes caractéristiques saisies par restitution (SF).

21 profils équidistants de 100 m et parallèles à l'axe des x ont été calculés. Le tableau suivant donne pour chacun de ces profils, dont le nombre de points varie de 42 à 80, les éléments de comparaison par rapport aux profils construits à partir des courbes de niveau initiales saisies par photogrammétrie (cf tableau page suivante).

Il est clair que la suppression de points le long des courbes de niveau initiales saisies par photogrammétrie n'altère pas de façon sensible la précision du modèle.

Par contre, le maillage régulier (MR) au pas de 30 m n'apparaît pas approprié à une bonne expression numérique du terrain du fait de la présence d'importantes zones boisées qui rendent illusoire toute précision de la saisie par voie photogrammétrique. Ce qui n'est pas le cas du maillage quasi-régulier (MQR) qui, avec la moitié des points par rapport au maillage

Differences between the models per section

Model :	CNR-CN			MR-CN			MQR-CN			SF-CN		
	NO. OF POINTS	MEAN	VARIANCE	NO. OF POINTS	MEAN	VARIANCE	NO. OF POINTS	MEAN	VARIANCE	NO. OF POINTS	MEAN	VARIANCE
Sections:	52	.00	.01	134	-1.81	11.50	102	.49	2.69	53	-2.73	28.98
	46	-0	.02	136	-2.69	24.45	102	.62	1.94	46	1.67	3.93
	43	.02	.01	135	-2.18	21.65	103	.62	1.13	36	1.05	14.77
	47	-.01	.02	135	-1.37	15.02	101	.56	1.94	44	-.43	19.46
	49	-.01	.02	136	-2.49	26.26	102	.94	2.78	46	2.10	14.75
	47	-.21	.70	135	-2.21	16.67	103	.13	2.93	50	2.80	16.95
	42	.04	.02	135	-2.30	15.08	103	.31	2.45	54	1.37	5.78
	47	-.00	.01	136	-3.14	30.57	102	.12	4.05	43	2.08	17.09
	58	-.00	.03	135	-2.98	26.95	102	.61	2.26	43	1.67	7.91
	58	-.07	.05	135	-2.54	22.72	103	.88	2.92	56	0.06	16.32
	63	.02	.08	136	-4.94	33.80	103	.66	5.72	40	-.82	74.45
	65	-.03	.05	135	-3.19	32.43	101	.90	4.25	39	-.83	63.71
	66	-.09	.04	135	-3.97	37.04	103	1.30	4.70	43	4.87	46.19
	72	-.02	.06	136	-6.27	40.26	104	2.58	17.63	45	7.43	78.45
	74	-.07	.10	135	-7.28	30.45	102	2.63	18.94	45	4.48	48.22
	80	.00	.10	135	-6.12	36.71	100	2.30	7.19	41	4.13	37.95
	76	-.03	.10	135	-4.50	51.50	102	1.96	10.30	41	2.14	28.35
72	-.07	.04	135	-2.89	17.35	104	2.39	9.17	53	4.28	117.88	
54	.01	.06	135	-1.80	16.86	103	2.00	8.37	56	4.38	57.77	
48	-.09	.03	136	-1.36	10.86	108	1.30	10.62	49	1.56	7.92	
56	.03	.03	135	-3.30	20.03	102	.84	5.37	41	2.10	16.88	
Average:		.03	.07		-3.30	25.62		1.11	4.49		2.06	34.46

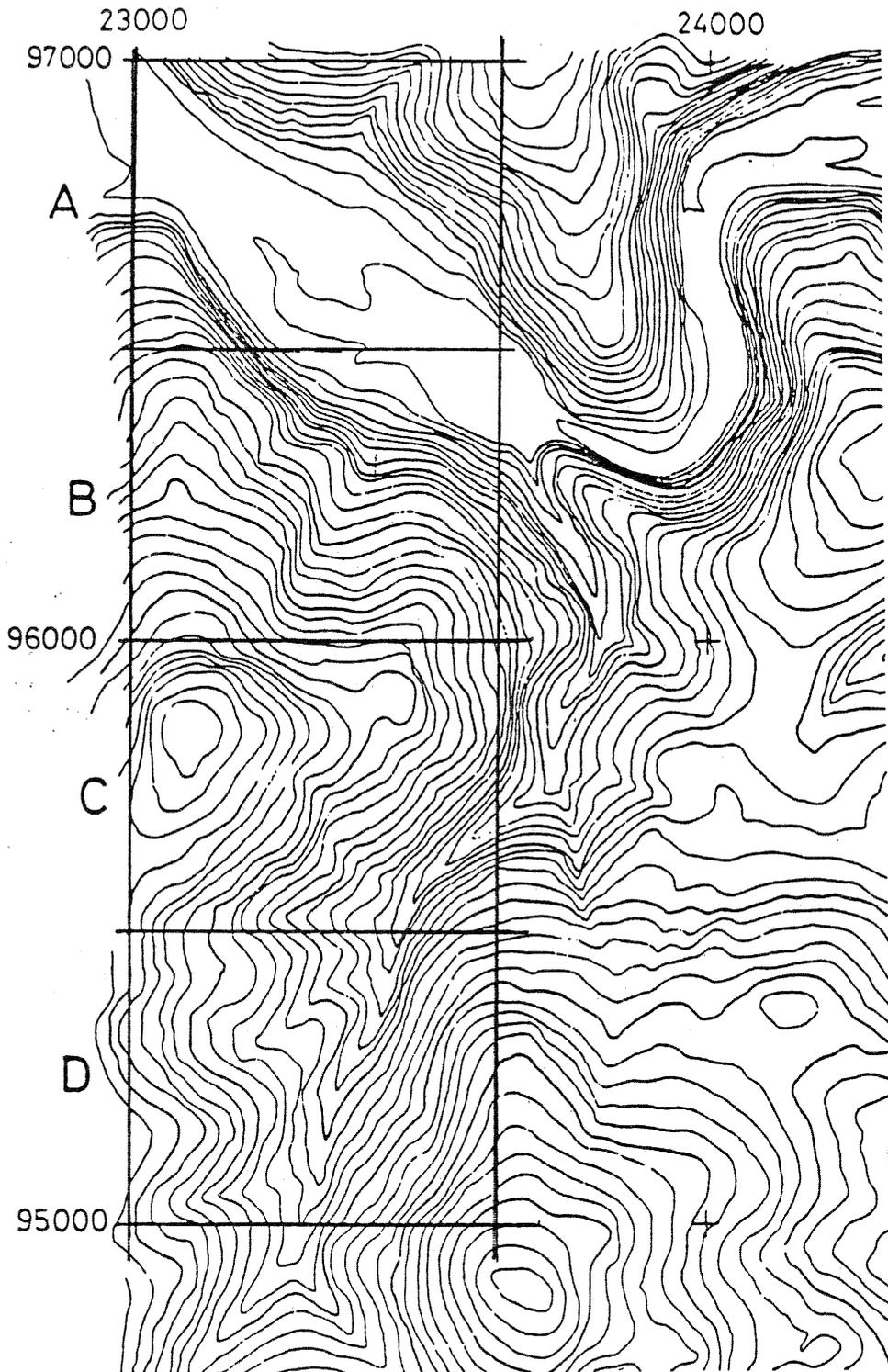


FIG.4

ZONES D'EXPERIMENTATION - SITE DE NOIRETABLE

(équidistance des courbes de niveau 5m)

régulier (MR), donne une expression du terrain bien plus satisfaisante.

Enfin les lignes caractéristiques (SF) saisies par photogrammétrie constituent une image grossière du terrain du fait de l'absence de données complémentaires telles que maillage, semis de points ou lignes diverses traduisant des discontinuités et variations de relief de moindre importance. La saisie photogrammétrique de ces lignes étant délicate pour les raisons évoquées plus haut, c'est donc vers l'exploitation de modèles mixtes (lignes caractéristiques - maillage) qu'il pourrait être utile de s'orienter en vue d'une amélioration de la qualité des modèles numériques.

III.2-2-2 Réduction du maillage

La méthode statistique de collocation constitue un outil universellement utilisé pour le traitement et la représentation numérique de toutes sortes de grandeurs physiques connues en un nombre limité de points. Elle permet en particulier d'estimer la précision de l'interpolation sur l'ensemble de la zone couverte par un semis de points et ainsi apprécier les effets de la réduction possible du nombre de mesures.

Une telle expérimentation a été conduite à l'Institut Polytechnique de MILAN par M. AMMANNATI (ITALIE) sur quatre rectangles (A, B, C, D) de 640 m x 500 m chacun extraits du maillage quasi-régulier de pas de 40m x 40m (MQR) soit pour chaque rectangle 208 points environ (16 x 13) (fig. 4).

On considère que les points de mesure représentent la réalisation d'une fonction aléatoire stationnaire qui est en fait la différence entre l'altitude réelle et une altitude moyenne de référence lentement variable.

Pour chacun des rectangles, on a tracé les courbes de la fonction de covariance établies à partir de 3 échantillonnages différents 200, 100 et 50 points (fig.5). L'examen de la structure de ces graphes montre clairement que la réduction du maillage à 100 points ou à 50 points n'a pas d'influence significative sur la précision de l'interpolation. De telles réductions n'entraînent pas une dégradation importante de la qualité du modèle. Toutefois on remarque qu'une réponse complète à cette question pourrait être donnée par l'analyse des courbes de covariance établies à partir des résidus provenant d'une fonction d'interpolation ajustée sur la moitié de l'échantillonnage, l'autre moitié constituant l'ensemble des valeurs de comparaison des interpolations (1). Il serait aussi possible de déterminer l'ampleur de la réduction possible et de prévoir la précision de l'interpolation qui en résulterait.

III.2-3 Densification de l'information

Si l'on en juge par les expériences précédentes la réduction de l'information initiale de 35.000 points de courbes de niveau à 8.000 et le passage d'un maillage de 200 à 50 points, soit d'un pas de 40 à 80 - ou de 1,85 millimètres à 3,7 millimètres à l'échelle du 1/30.000- n'altèrent pas de façon significative la précision du modèle alors que le terrain est dans son ensemble relativement accidenté. Ce qui semble indiquer que les variations notables d'altitude se produisent sur une distance supérieure à l'écartement des points et mailles supprimés. A l'inverse, il n'est pas inutile de tenter d'appréhender le gain qui pourrait résulter de l'élaboration d'un maillage très petit, de pas de 10 m par exemple, calculé par interpolation à partir des courbes de niveau numérisées lors de la restitution. En effet, la saisie photogrammétrique d'un tel maillage, n'est possible qu'en terrain découvert et est de toute façon longue et onéreuse.

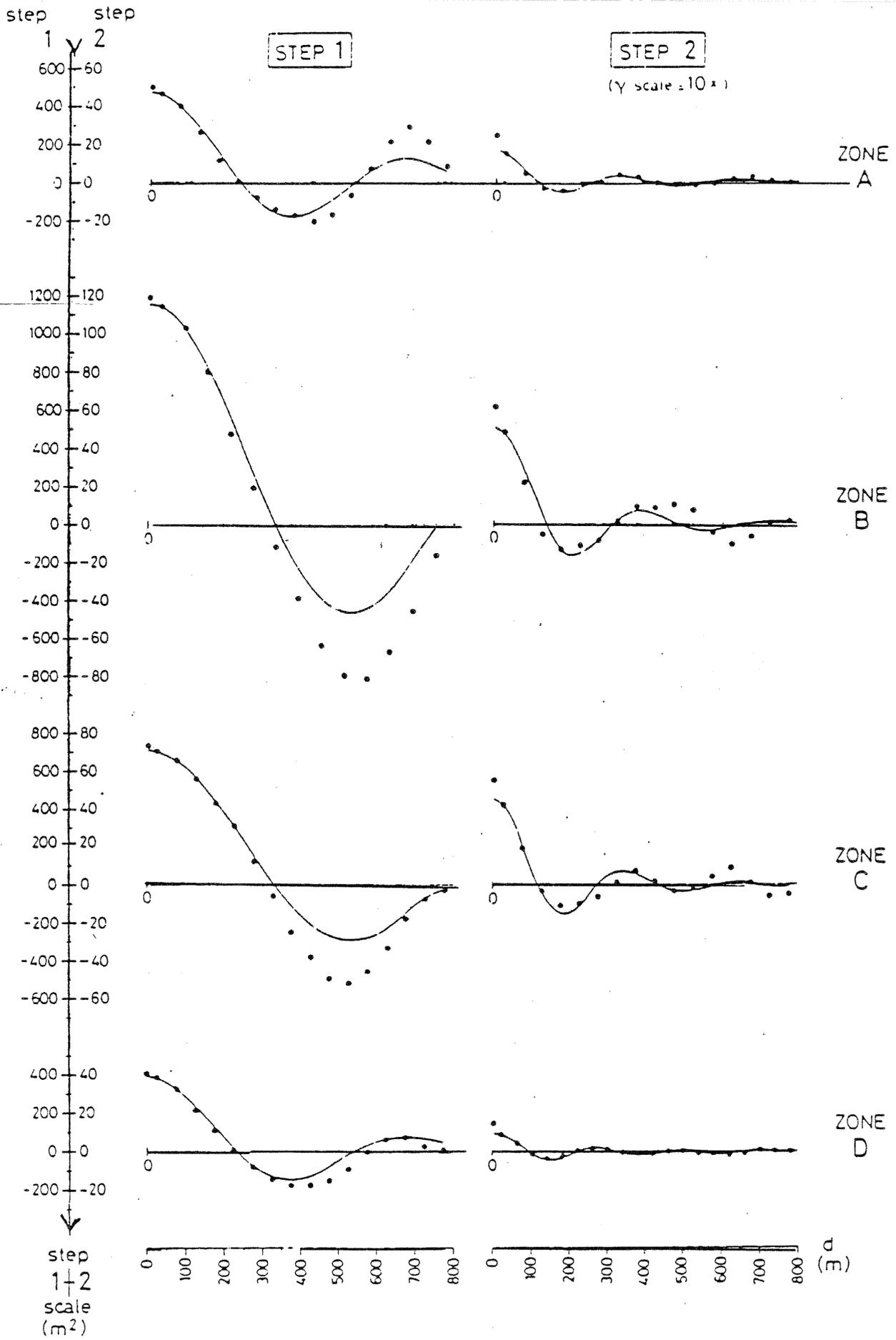


FIG. 5
Courbes de la fonction de covariance

C'est ce qu'a expérimenté M. JULIEN (IGN - FRANCE) en calculant à partir du fichier (CN) des courbes de niveau initiales un modèle numérique à mailles carrées de 10m de côté. Ce modèle a été calculé par la méthode de la grille élastique décrites par M. de MASSON d'AUTUME (8).

Les valeurs Z_{ij} des altitudes aux noeuds (X_i, Y_j) d'un réseau défini par les verticales $X_0, X_1 = X_0 + \Delta x, X_2 = X_0 + 2\Delta x, \dots$ et les horizontales $Y_0, Y_1 = Y_0 + \Delta y, Y_2 = Y_0 + 2\Delta y$ sont obtenues comme solution au sens des moindres carrés d'un système linéaire comportant des équations du type

$$\begin{aligned} Z_{i-1,j} + 2 Z_{ij} + Z_{i+1,j} &= 0 \\ Z_{i,j-1} + 2 Z_{ij} + Z_{i,j+1} &= 0 \end{aligned}$$

Z_{ij} est obtenu par interpolation linéaire ou cubique entre les courbes de niveau le long des axes du maillage. Après calcul d'un Z_{ij} dans chaque direction du maillage. On adopte pour valeur finale celle des deux valeurs qui correspond à la pente la plus forte sinon celle qui correspond à la moyenne. Le poids λ est nul pour tous les points dont la distance d à une courbe de niveau est supérieure au pas du maillage et fonction de d dans les autres cas.

Pour contrôler la qualité de ce modèle, il a été dessiné les courbes de niveau calculées par interpolation bilinéaire dans ce maillage (fig.6). On observe une bonne fidélité des courbes calculées par rapport aux courbes saisies, avec un léger amollissement au fond des talwegs. Ces courbes s'enboîtent plus régulièrement que les courbes saisies. Le modèle numérique supporte, et même corrige, les imperfections des données de départ (courbes interrompues, courbes qui se touchent, voire se croisent). Toutefois, un défaut gênant est la présence de courbes supplémentaires dans la vallée qui traverse le Nord de la zone. Il serait nécessaire en ces endroits, d'imposer des contraintes plus sévères aux points calculés. La prise en compte des lignes caractéristiques (crêtes, talwegs...) lors des calculs pourrait être le moyen d'effacer de tels défauts.

III.3 - Extraction automatique des éléments remarquables du terrain

Ces éléments correspondent aux zones de discontinuité de la surface ou aux zones où les variations de la surface sont les plus brutales (crêtes, talwegs, ruptures de pente, lignes de partage des eaux...). C'est la raison pour laquelle M. AMMANNATI a examiné les différences entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées au moyen d'une méthode de collocation (2). Or cette méthode réalise le lissage de la fonction représentative du terrain. Il a observé que les différences les plus importantes entre la surface obtenue par interpolation et la surface vraie donnée par les cotes mesurées du maillage étaient disposées selon des lignes de crête, talweg, rupture de pente, etc....

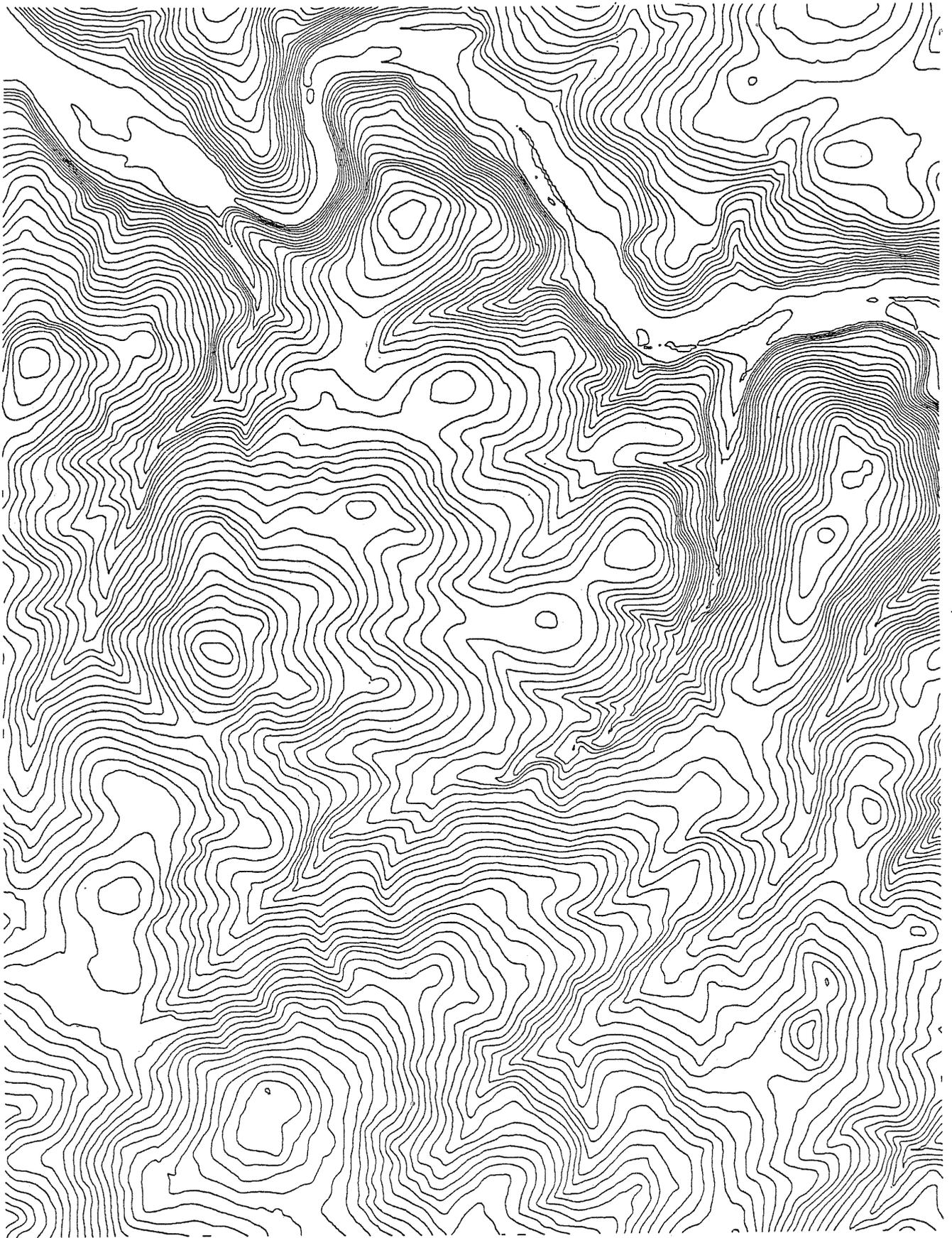
Pour sa part le groupe français a suivi une autre approche. Celle proposée par M. DUFOUR (IGN - FRANCE) à savoir la définition des lignes caractéristiques tentée par $\gamma = \text{courbure de la ligne de pente} = 0$ (4). Les résultats obtenus ont montré la difficulté à représenter de cette façon les confluent et les noeuds de crêtes.

Il a alors été tenté de définir talwegs et crêtes par l'ensemble des points où γ est stationnaire dans un déplacement tangentiel sur la ligne de niveau.

- γ stationnaire minimale = talweg
- γ stationnaire maximale = crête

FIG.6

Courbes de niveau obtenues à partir d'un modèle numérique maillé pas de 10 m



Toutefois cette solution conduit à recourir à une fonction H ayant des dérivées troisièmes continues. M. ABGRALL (SPHOM) a proposé de remplacer les B-splines (qui avaient été utilisées précédemment) par des "Raised Cosine Functions" analogues mais présentant un plus grand nombre de dérivées continues (6).

III.4 - Amélioration des méthodes d'interpolation et d'élaboration des modèles

Les résultats qui viennent d'être exposés soulignent tout l'intérêt que présentent les éléments remarquables du terrain pour la définition même du terrain.

1) L'exploitation de ces éléments devrait concourir à de meilleures interpolations. En effet, ils séparent des domaines morphologiquement homogènes dont les points d'observation qu'ils enferment fixent le voisinage privilégié dont il conviendrait de tenir compte lors de l'interpolation. Toutefois, la gestion automatique de ces domaines se heurte aujourd'hui encore à de nombreuses difficultés bien que des expérimentations soient actuellement entreprises par le groupe français de la commission B.

2) La décomposition du terrain en mailles non rectangulaires limitées par des lignes remarquables où l'on se donnerait altitude et gradient paraît être un but raisonnable à la base des méthodes automatiques de généralisation notamment dans les terrains à pente faible pour lesquels les méthodes d'interpolation ne savent pas éviter la création d'îlots de courbes de niveau.

3) Les éléments remarquables pourraient permettre d'améliorer la qualité du modèle dont ils ont été extraits par ajustement de l'altitude tenant compte de leur présence. Toutefois on remarquera que leur introduction dans le modèle ne constitue qu'un guide pour l'élaboration de ce dernier. Les valeurs altimétriques de ces éléments restent imprécises puisqu'elles découlent d'une réalité lissée. Seule leur position planimétrique est révélatrice de phénomènes locaux particuliers.

4) La connaissance des éléments remarquables du terrain pourrait déboucher sur de nouveaux types de modèles numériques. Ainsi le complément d'information signalant crêtes, talwegs, talus, ruptures de pente pourrait être associé à un maillage grâce à un repérage booléen relativement peu coûteux en mémoires et renvoyant à des distributions supplémentaires.

En conclusion, cette étude ne peut-être généralisée hâtivement à un site quelconque. Toutefois le site de NOIRETABLE est d'une complexité suffisante pour admettre que les résultats obtenus peuvent être étendus à de nombreux terrains.

=====

BIBLIOGRAPHIE

- (1) F. AMMANNATI, B. BENCIOLINI, L. MUSSIO, F. SANSONO - An experiment of collocation applied to digital Height Model Analysis, International Colloquium on Mathematical Aspects of Digital Elevation Models, K. TORLEGARD - STOCKHOLM - 1983
- (2) F. AMMANNATI, B. BETTI, L. MUSSIO. Statistical analysis of relevant terrain features through digital elevation models, XV ISPR Congress, Commission III - RIO DE JANEIRO - 1984
- (3) GS. CRAINE, JM. HOULTON, P. BROCK. Moss modelling systems user manual 1981.
- (4) HM. DUFOUR, F. ABGRALL. Eléments remarquables du relief. Définitions numériques utilisables - Bulletin N°1|1983 - Fascicule 95 du bulletin du Comité Français de Cartographie - MARS 1983 - p 57 à 79.
- (5) G. GROS - Rapport provisoire et partiel du groupe de travail du Comité de la Recherche et du Développement de l'Institut Géographique National sur les modèles numériques de terrain : une approche au calcul automatique des éléments caractéristiques du terrain (version française et anglaise) - 1983.
- (6) HB. KEKRE & Al Raised Cosine function for image data interpolation Comput - Electr - Engng - Vol 9 N°3-4- 1983
- (7) B. MAKAROVIC - From progressive to composite sampling for digital terrain models - Géo-processing vol 1, N°2 décembre 1979.
- (8) M. DE MASSON D'AUTUME - Construction du modèle numérique d'une surface par approximations successives. Application aux modèles numériques de terrain (MNT). Bulletin N°71|72 de la Société Française de Photogrammétrie et télédétection (1978 - 3/4)
- (9) H. RUDENAUER. Zur photogrammetrischen Erfassung von Gelände daten und deren digitaler Verarbeitung unter Berücksichtigung strassenbaulicher Forderungen. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover nr 101 - HANNOVER 1980