

CARTOVL
Un logiciel FORTRAN 77
pour le tracé de cartes d'isovaleurs

R. BERLAND
T. LEBEL
UR 604

CARTOVL est bâti autour du sous-programme ISOVAL de la bibliothèque CARTOLAB développée à l'Ecole de Géologie de Nancy par J.L. MALLET. A ce titre, CARTOVL ne peut être commercialisé et est à usage interne exclusif des Chercheurs et Ingénieurs de l'ORSTOM.

Le développement a été effectué sur station de travail APOLLO et cette notice détaille lorsque cela est nécessaire l'implantation particulière du logiciel sur ce type de matériel. La programmation en FORTRAN 77 permet de transférer CARTOVL sur tout système muni d'un compilateur FORTRAN en standard 77, moyennant les adaptations nécessaires en ce qui concerne les modules graphiques regroupés dans des bibliothèques. La portabilité sur micro-ordinateur compatible IBM muni d'un compilateur PROFORT est à l'étude.

CARTOVL est un logiciel écrit en Fortran 77 permettant de visualiser sous forme d'une carte d'isolignes un phénomène qui varie dans un espace à deux dimensions et dont on connaît les valeurs aux noeuds d'une grille régulière.

Il a été écrit afin de permettre aux utilisateurs de construire leur carte de façon interactive. Ceci implique un dialogue aboutissant à la définition de l'échelle de la carte, de son cadrage, de son titre et à des différents éléments en constituant le fond (rivières, contours de bassins, stations de mesure, etc.). Ce logiciel s'insère dans une chaîne de traitement des données spatialisées en cours de mise au point pour répondre aux besoins en la matière des Unités de Recherche du Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM.

Le choix d'un langage de programmation largement répandu et standardisé assure la portabilité aisée du logiciel, mais la visualisation proprement dite reste dépendante du type de périphérique sélectionné. A l'heure actuelle, seules des sorties sur table traçante compatible Hewlett Packard (langage HP-GL) ou sur stations de travail APOLLO sont possibles.

1. CARTOGRAPHIE DE VARIABLES SPATIALISEES

1.1. L'INTERPOLATION PREALABLE A LA CARTOGRAPHIE

La cartographie d'une variable n'a de sens que si cette variable présente une certaine organisation dans l'espace où elle prend ses valeurs.

Dans les dispositifs de mesure directs, il est fréquent que la sélection des points de mesure se fasse selon des critères qui vont à l'encontre de l'implantation selon un schéma régulier. C'est par exemple le cas des stations climatologiques qui sont généralement installées à proximité de localités d'une certaine importance ou tout du moins sur des lieux d'accès aisés. Les techniques les plus courantes de construction de cartes d'isolignes s'appuient a contrario sur la définition d'une grille rectangulaire ou triangulaire à maillage régulier, les valeurs de la fonction étant supposées connues en chaque noeud de cette grille. La cartographie proprement dite nécessite donc fréquemment d'avoir recours à une interpolation préalable du champ de mesures pour construire la grille recherchée. Cette étape n'est pas abordée ici, mais on doit garder présent à l'esprit qu'elle précède la mise en oeuvre du logiciel de cartographie et qu'elle conditionne très fortement les erreurs commises.

La variable étant supposée connue aux noeuds d'une grille rectangulaire suffisamment fine, la tracé d'une ligne d'isovaleurs au sein de cette grille se résume à un problème d'interpolation entre les noeuds et d'agencement séquentiel de l'ensemble des points (x_i, y_i) où l'on aura déterminé que la variable Z prend la valeur z_0 de l'isoligne recherchée.

1.2. DETERMINATION DU TRACE D'UNE ISOLIGNE

Une isoligne de niveau z_0 correspond à la représentation graphique de la fonction Z telle que :

$$Z(x, y) - z_0 = 0$$

La résolution d'une telle équation à partir de la connaissance des valeurs aux $m \cdot n$ noeuds de la grille suppose une méthode numérique respectant les points de passage obligatoires repérés sur les segments de la grille et assurant la continuité des dérivés de chaque arc de courbe reliant deux de ces points entre eux. Ceci exclut a priori l'emploi des polynômes de Lagrange qui présentent des

instabilités numériques ou la méthode composite génératrice de discontinuités ou de points anguleux. La solution retenue dans ISOVAL est de construire une représentation paramétrique de la courbe de niveau z_0 sur l'arc $M_i M_{i+1}$, M_i et M_{i+1} étant deux points de passage de la courbe où sont supposés connus les dérivés :

$$\begin{aligned}x(t) &= a_1 + b_1 t + c_1 t^2 + d_1 t^3 \\y(t) &= a_2 + b_2 t + c_2 t^2 + d_2 t^3\end{aligned}$$

avec

$$t_i = 0 ; t_{i+1} = 1 \text{ et } t \in [0,1] \Leftrightarrow \begin{cases} x(t) \\ y(t) \end{cases} \in M_i M_{i+1}$$

L'arc $M_i M_{i+1}$ est donc représenté à l'aide de huit paramètres dont les valeurs sont obtenues en écrivant les huit équations correspondant à la connaissance de $x_i(t)$, $y_i(t)$, $x_{i+1}(t)$, $y_{i+1}(t)$ et des dérivés en M_i et M_{i+1} .

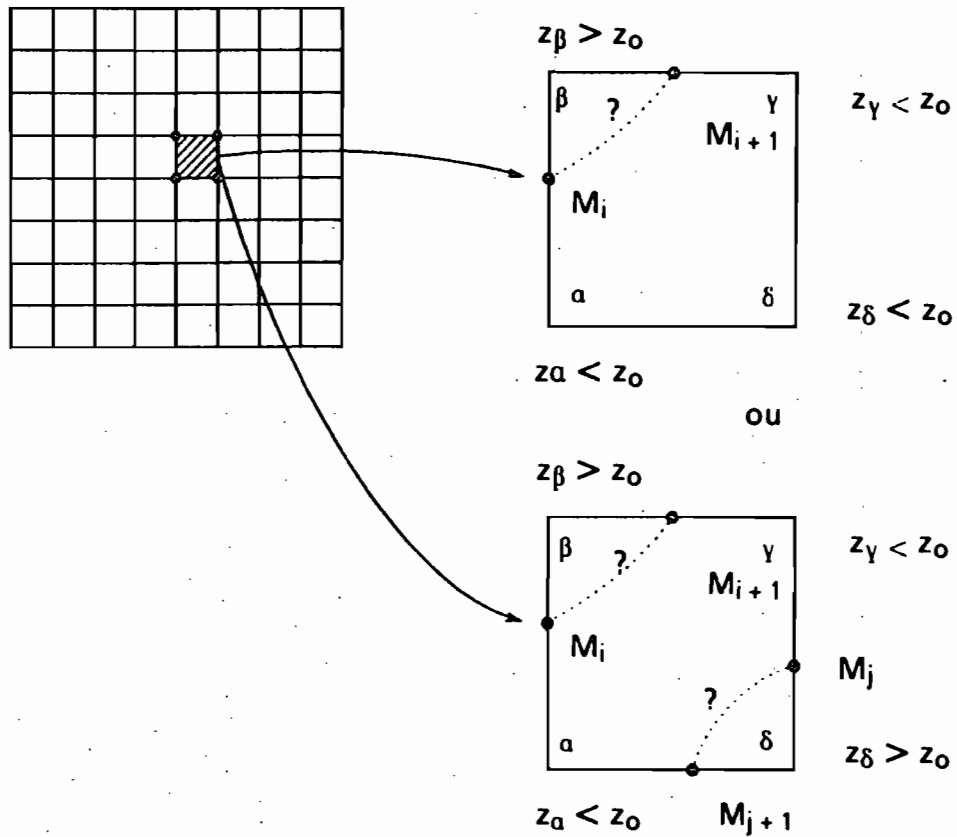
Une telle méthode assure la continuité et l'aspect lisse de l'isoligne constituée par la succession des arcs $M_i M_{i+1}$, $\{i = 1, n\}$. Son inconvénient réside dans l'obligation faite de connaître les tangentes en M_i et M_{i+1} . Lorsque tel n'est pas le cas on en obtiendra une estimation suffisante en écrivant :

$$\theta_i = M_i - M_{i+1}$$

1.3. TRACE AUTOMATIQUE D'UNE COURBE DE NIVEAU z_0

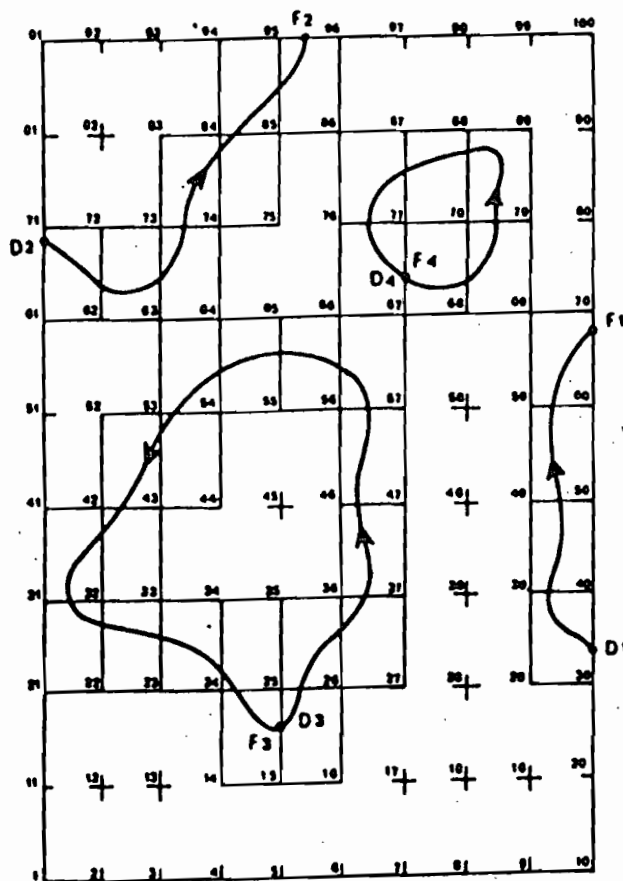
On peut résumer succinctement les différentes étapes de l'algorithme de tracé automatique :

- 1 - scrutation de la grille pour repérer tous les carreaux du réseau traversés par la courbe de niveau z_0 . Si on exclut les configurations de plateau ou de marais, on voit d'après le schéma ci-dessous que l'isoligne coupe soit 0, soit 2, soit 4 côtés d'un carreau.



Un élément d'isoligne $M_i M_{i+1}$ est donc défini par le quadruplet des noeuds de la grille entourant respectivement M_i et M_{i+1} (par exemple $a, \beta ; \beta, \gamma$ que l'on notera $\{Q_i\}$).

Si on a repéré N éléments, l'isoligne est entièrement définie par N quadruplets qu'il s'agit d'ordonner pour éviter les intersections de courbes de niveau. Ceci est réalisé en scrutant les quadruplets et en repérant ceux qui ont des cotes identiques, définissant ainsi les arcs adjacents. L'algorithme permet également de déterminer quels sont les morceaux d'isoligne fermés et ceux qui sont ouverts (voir exemple ci-après) :



C ₁		C ₂		k	limites
α haut	β bas	γ haut	δ bas		
25	15	25	24	12	D ₅
25	26	25	15	13	
32	22	32	31	26	
33	23	32	22	27	
34	24	33	23	26	F ₃
25	24	34	24	29	
25	26	36	26	14	
36	37	36	26	15	D ₁
40	30	40	39	1	
32	31	32	42	25	
43	42	32	42	24	
36	37	46	47	16	
40	39	50	49	2	
43	42	43	53	23	
54	53	43	53	22	
46	47	56	57	17	
50	49	60	59	3	
54	53	54	64	21	
55	65	54	64	20	
56	66	55	65	19	
56	57	56	66	10	
60	59	60	70	4	F ₁
72	62	73	61	5	D ₂
73	63	72	62	6	
73	74	73	63	7	
77	67	77	76	30	D ₄
78	68	77	67	31	
78	79	78	68	32	
73	74	84	74	8	
84	85	84	74	9	
77	76	77	87	35	F ₄
78	88	77	87	34	
78	79	78	88	33	
84	85	95	85	18	
95	96	95	85	11	F ₂

Une fois la séquence des quadruplets $Q_1, \dots, Q_i, \dots, Q_n$, fixée, il reste à déterminer le tracé de l'isoligne pour relier les deux points de chaque quadruplet. On opère en utilisant l'interpolation paramétrique décrite à la section 1-2. Le calcul des tangentes nécessaire à cette interpolation requiert une attention spéciale puisqu'on ne connaît pas l'expression analytique de la fonction $Z(x,y)$.

En un point quelconque $M(x, y)$ cette tangente θ_M est définie par la perpendiculaire au vecteur gradient

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial X}, \frac{\partial Z}{\partial Y} \right),$$

soit

$$\theta_M = \left\{ \begin{array}{l} -\partial Z / \partial Y \\ \partial Z / \partial X \end{array} \right\}$$

En effectuant une interpolation de Lagrange sur un sous domaine centré sur le noeud de grille le plus proche de M (cf. schéma ci-dessous), on obtient une expression analytique locale de la fonction Z :

$$Z(x, y) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j$$

d'où on tire :

$$\partial Z / \partial x = \sum_{i=0}^m \sum_{j=1}^n i a_{ij} x^{i-1} y^j$$

$$\partial Z / \partial y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=0}^n j a_{ij} x^i y^{j-1}$$

La tangente θ étant ainsi calculable en tout point de la courbe de niveau, on peut tracer l'isoligne entre deux points M_i et M_{i+1} . Ce tracé s'effectue par segments élémentaires de longueur DS et dont la direction est égale à celle de θ .

DS est un des paramètres du logiciel, dont il existe une valeur par défaut (.1), mais qui peut être modifié par l'utilisateur. Le but est d'obtenir un arc de courbe lisse sans pour autant que le temps de calcul résultant d'une valeur trop petite de DS devienne trop important.

1.4. CONCLUSION

L'expérience montre que la technique d'interpolation paramétrique adoptée dans ISOVAL est performante à deux points de vue :

- . les isolignes ne se recoupent qu'en cas de plateau ou de marais,
- . les temps de calcul restent modérés.

On obtiendra une description plus complète de la méthodologie employée en se reportant à la présentation qui en est faite par J.L. MALLET (1974) dans les annales de l'Ecole de Géologie de Nancy (série informatique).

2. ORGANISATION ET IMPLANTATION

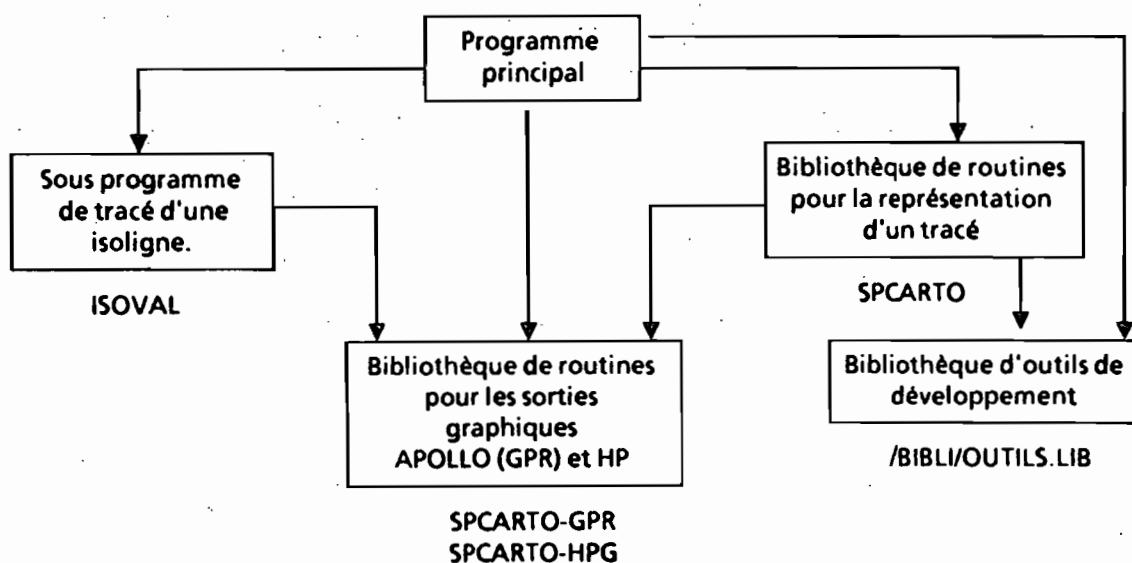
2.1 STRUCTURE GENERALE DU LOGICIEL

La structure du logiciel CARTOVL est telle qu'elle permet aisément l'adaptation du logiciel sur tous matériels munis d'un compilateur FORTRAN. Les sorties graphiques sont actuellement disponibles sur table traçante HP ou station de travail APOLLO.

Le corps du programme :

- le programme principal
- le sous programme de calcul d'isovaleurs
- les routines de représentation d'un tracé

fonctionne indépendamment du support graphique choisi, ce qui assure la portabilité du logiciel.



2.2. TROIS VERSIONS DU PROGRAMME

CARTOVL propose 3 versions pour tracer des cartes d'isovaleurs :

version simple : Elle trace, pour un événement donné, 10 isovaleurs calculées régulièrement dans l'intervalle ZMIN, ZMAX (isovaleurs extrêmes).

version standard : Elle permet de tracer :

- un fond de carte seul,
- des isolignes sur un fond de carte avec un masque de tracé,
- des isolignes sur un fond de carte,
- des isolignes seules

en choisissant :

- la représentation du tracé (échelle, titre...),
- Les isolignes à tracer

version élaborée : Elle offre les mêmes possibilités que la version standard auxquelles s'ajoutent les choix suivants:

- Plusieurs types de représentation (pointillés, double épaisseur ...) du fond de carte et des isolignes,
- Pour la table traçante uniquement :
Un choix de 6 couleurs pour l'écriture des titres et la représentation du fond de carte et des isolignes.

Berland R., Lebel Thierr

CARTOVL : un logiciel FORTRAN 77 pour le tracé des cartes d'isovaleurs

Lettre d'Information du Réseau MISS. Méthodes Informatiques et Statistiques Spatialisées, 1988, (3), 8 p. multigr.