



BIARRITZ — Mai 1984 —

GEOMATIQUE : UN SYSTEME DE SIMULATION GRAPHIQUE DU RELIEF (3D)

GEOMATICS : A GRAPHIC SIMULATION SYSTEM FOR 3-D TOPOGRAPHY

Serge Motet\* et Daniel Laurent\*\*

\* Institut Géographique National (IGN)

\*\* ITQDYS, Université Paris VII, CNRS LA 34, 1, rue Guy de la Brosse, 75005 - Paris, France.

**RESUME**

Le système proposé est un système de commande général pour simuler et restituer des vues (3D) dynamiques du relief. Ce système est implanté sur un MPS Evans & Sutherland connecté à un VAX 11/780. Il peut s'adapter et s'insérer en tant qu'outil logiciel dans les traitements les plus divers (création de documents cartographiques, optimisation de l'implantation d'objet sur un relief avec des contraintes multiples,...) et autorise une réelle interactivité dans le choix et la visualisation des représentations.

Le système fournit à l'utilisateur une gamme de procédures de créations qui permettent d'obtenir et de visualiser différentes "représentations réalistes" du relief. Ces différentes représentations réalistes du relief constituent dans la pratique l'outil de base pour exploiter qualitativement et dynamiquement une base de données géomatiques car les autres entités (hydrographie, végétation,...) s'appuient sur le relief. La maîtrise de l'altimétrie s'avère indispensable pour situer et visualiser les autres informations. Le système est interactif ; il permet de définir à l'utilisateur un plan d'appel à partir d'un menu. Un répartiteur de tâches précompile le plan d'appel et établit la correspondance entre le menu et la séquence des opérations dont il contrôle l'exécution.

**SUMMARY**

A general command system for the simulation and display of 3-D views of relief maps is presented. This system is implemented on an Evans and Sutherland MPS connected to a VAX 11/780. This (3-D) Geomatic Graphic Relief Simulation System can be adapted and inserted as a software tool in a wide range of treatments (creating cartographic documents, optimizing and entity implant on a relief map with multiple constraints,...) ; it also provides the user with an opportunity for genuine interaction with the system in the choice and display of representation.

The 3-D Geomatic Graphic Relief Simulation System provides the user with an array of creation procedures which let the user obtain and display different realistic depictions of the relief of a terrain. These different realistic displays constitute, in practice, the basic tool for qualitative and dynamic use of a geographic data base, because the other entities (vegetation, hydrography,...) are supported by the relief. The system is interactive ; it lets the user define a call sequence from a menu. A task-scheduler precompiles the call sequence and establishes the correspondence between the menu and the sequence of operations for which he controls the execution.



## INTRODUCTION

La conception, l'organisation et l'exploitation des bases de données géomatiques soulèvent des problèmes spécifiques liés à la diversité des attributs associés aux entités géographiques (attributs géométriques, planimétriques,...). De nombreux auteurs ont souligné les possibilités offertes par les systèmes graphiques pour présenter de façon cohérente des données géographiques variées (cartes, statistiques, photographie, images satellites,...).<sup>1</sup>

L'aspect graphique est ainsi devenu l'un des éléments essentiels à prendre en compte lors de la conception d'un système de gestion d'une base de données géographiques.<sup>2</sup>

De très nombreux organismes développent des bases de données topographiques.<sup>3</sup> En France, l'Institut Géographique National gère une telle base.<sup>4</sup> De nombreuses procédures de simulation utilisent la topographie comme donnée de base ; ainsi, par exemple, la procédure qui détermine les parties vues et cachées du relief à partir de la position de l'observateur ou celle qui précise l'évolution de la partie vue par un observateur qui se déplace sur le relief. Ces simulations exigent une vision réaliste des "objets géomatiques" et de leurs attributs dans leur contexte géométrique et spatial.

Par nature, ces objets sont intrinsèquement 3D, la représentation sur une carte 2D est une convention de représentation particulière. Dans la pratique, les objets sont fréquemment situés dans un environnement topographique (3D) défini par le relief.

Nous présentons un système de commande général développé à l'Université Paris VII, en liaison avec l'Institut Géographique National, pour simuler et restituer des vues (3D) statiques et dynamiques du relief. Ce système est implanté sur un MPS Evans et Sutherland connecté à un VAX 11/780. Il peut s'adapter et s'insérer en tant qu'outil logiciel dans les traitements les plus divers (création de documents cartographiques, optimisation de l'implantation d'objet sur un relief avec des contraintes multiples,...) et autorise une réelle interactivité dans le choix et la visualisation des représentations.

Le système de simulation proposé offre à l'utilisateur une gamme de procédures de créations qui permettent d'obtenir et de visualiser différentes "représentations réalistes" du relief. Ces différentes représentations constituent dans la pratique l'outil de base pour exploiter qualitativement et dynamiquement une base de données géomatiques car les autres entités (hydrographie, végétation,...) s'appuient sur le relief. Le système est interactif ; il permet de définir à l'utilisateur un plan d'appel à partir d'un menu. Un répartiteur de tâches pré-compile le plan d'appel et établit la correspondance entre le menu et la séquence des opérations dont il contrôle l'exécution. Nous distinguons dans cet exposé :

1. La représentation et la visualisation (3D) du relief
2. Les modes d'interactions et le répartiteur de tâches.

## I - LA REPRÉSENTATION ET LA VISUALISATION (3D) DU RELIEF

La visualisation (3D) du relief consiste à dessiner un solide indéformable à partir d'une représentation numérique particulière. Ce traitement se décompose en deux parties :

- Une procédure de création qui génère une liste d'affichage en trois dimensions. Cette liste contient les constantes qui représentent les coordonnées dans le repère du solide.
- Une procédure d'affichage qui transforme la liste d'affichage en image sur l'écran. Grâce aux moyens interactifs, cette procédure permet d'obtenir différentes vues réalistes de l'objet à partir des informations fournies par l'utilisateur.

Les procédures mises en oeuvre par le système opèrent à partir de deux types de représentation : un modèle numérique du terrain (MNT) et une représentation par contours.

a) Le Modèle Numérique du Terrain (MNT) est une matrice dont les coefficients sont des altitudes (Fig. 1)

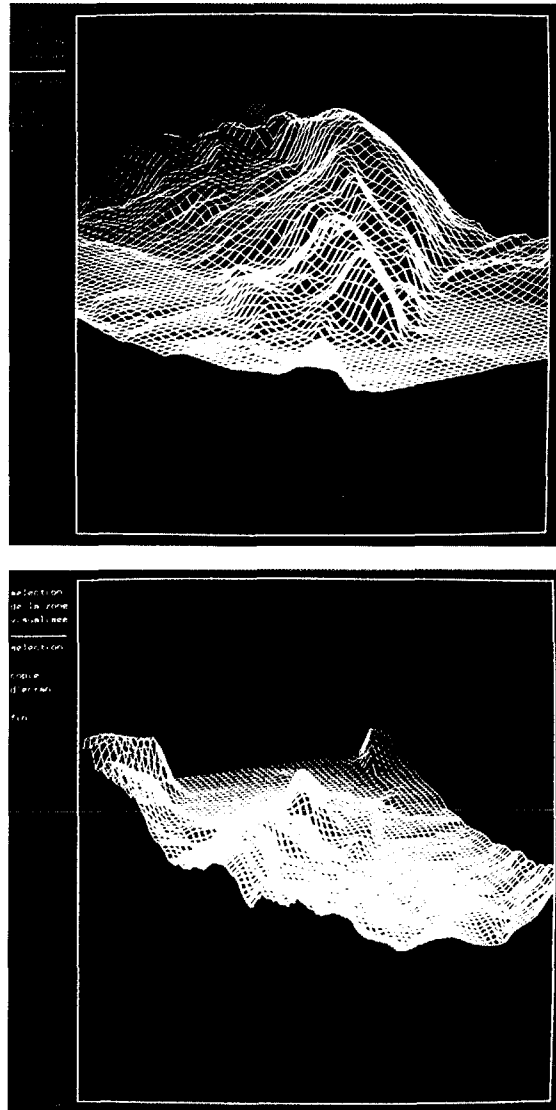


Figure 1 : Le Modèle Numérique du Terrain (MNT) est une matrice dont les coefficients sont des altitudes. Il est représenté par un maillage dont les noeuds sont  $(i, j, MNT_{ij})$ .



L'élément  $MNT_{ij}$  d'indice  $ij$  est l'altitude au point  $i * \Delta_x, j * \Delta_y$ ,  $\Delta_x$  et  $\Delta_y$  étant les pas de discrétisation dans le plan horizontal. On visualise le MNT par un maillage dont les noeuds ont pour coordonnées  $(i, j, MNT_{ij})$  (Fig. 1).

b) Représentation par contour. Cette structure est plus souple et elle s'apparente à un enregistrement séquentiel des coordonnées avec un index creux. On distingue trois niveaux d'abstraction : le point décrit par deux ou trois coordonnées, le contour qui est une suite de points et qui représente les courbes, l'objet constitué de tous les contours.

Les points sont enregistrés dans une pile. Un contour est représenté par un enregistrement contenant l'adresse dans la pile du premier point, le nombre de points et des informations sur la couleur. Les éléments de la pile sont ordonnés pour chaque contour du premier au dernier point. Il n'y a donc pas d'ambiguïté. Il existe deux types de contour selon qu'ils sont définis par des courbes 3D ou des courbes 2D. L'objet global est décrit par le chaînage des enregistrements de contour. On y accède par un pointeur sur le premier contour.

Des primitives d'accès et d'initialisation sont spécifiques de cette représentation notamment :

- L'initialisation de l'objet avec initialisation de la couleur courante. Celle-ci sera affectée à tous les contours à venir.
- L'initialisation d'un contour avec modification possible de la couleur courante. Ce nouveau contour devient le contour courant. Il est le seul à pouvoir être modifié.
- La mise à jour du niveau pour les contours 2D.
- L'insertion d'un point au sommet de la pile.
- L'affichage d'un contour. Lorsque la construction d'un contour est terminée, on peut l'afficher immédiatement sans attendre la fin de la procédure de création. L'utilisateur est ainsi avisé de l'état d'avancement d'un traitement.
- La normalisation de l'objet. Cette procédure transforme la structure par contour en une liste d'affichage (3D). C'est la dernière instruction réalisée lors de la création d'un objet.

Les procédures de visualisation

#### - Estompage

Cette procédure détermine les zones d'ombre créées par un soleil fictif.<sup>5,6,7</sup> Les lignes situées dans ces zones sont ensuite assombries. L'opérateur choisit interactivement la position du soleil défini par l'azimut (angle horizontal) et la distance zénithale. Cette procédure permet d'estomper le maillage associé au modèle numérique du terrain ou les courbes de niveau (Fig. 2).

L'éclairage d'une surface en un point est le produit scalaire entre la normale en ce point  $\vec{n}$  et la direction du soleil ( $\vec{s}$ ) (angle  $\theta$ ).

$$E = \cos\theta = \vec{s} \cdot \vec{n} = \vec{s} \cdot (\vec{u} \wedge \vec{v}) = \det(\vec{s} \ \vec{u} \ \vec{v})$$

avec  $\vec{u}$  et  $\vec{v}$  les vecteurs directeurs du plan tangent.

La surface est éclairée si  $E$  est positif, c'est-à-dire si  $\det(\vec{s}, \vec{u}, \vec{v}) > 0$ . Soit  $Z_{ij}$  un élément du MNT. Par convention le plan tangent au point  $P_{ij}$  de coordonnées  $(i, j, Z_{ij})$  est défini par les directions  $P_{i,j}, P_{i+1,j}$  et  $P_{i,j}, P_{i,j+1}$ . La procédure d'estompage calcule en chaque point  $P_{ij}$  le signe de  $E$ , c'est-à-dire :

$$\det(s, P_{ij}, P_{i+zj}, P_{ij}, P_{ij+z})$$

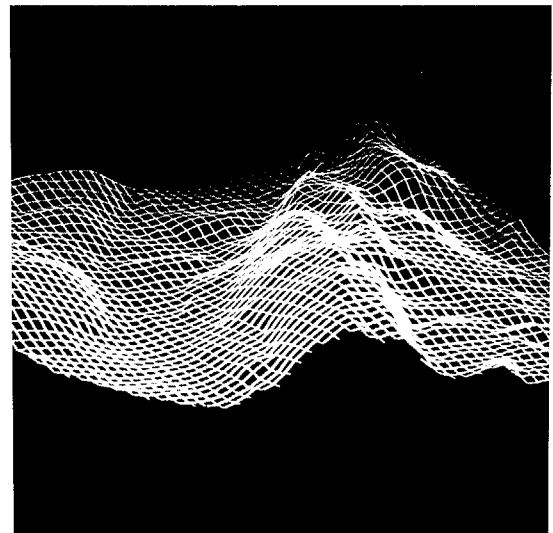
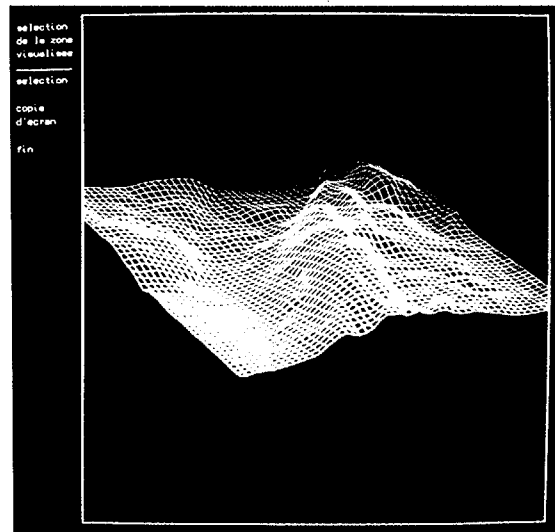


Figure 2 : Estompage.

Détermination des zones d'ombre créées par un soleil fictif. Les lignes situées à l'intérieur de ces zones ne sont pas visualisées. L'utilisateur définit la position du soleil en précisant l'angle avec l'horizon et la distance zénithale.

On obtient ainsi un tableau booléen nommé 'ombre' qui précise la valeur du signe de  $E$  au point  $P_{ij}$ . On associe au point  $P_{ij}$  la portion de terrain  $T_{ij}$  située entre  $P_{ij}, P_{i+1j}, P_{i+1j+1}$  et  $P_{ij+1}$ . La valeur du signe de  $E$  au point  $P_{ij}$  est étendue à l'élément de terrain  $T_{ij}$ ; c'est cette valeur qui détermine si  $T_{ij}$  est à "l'ombre" ou pas.

#### - Faces cachées

La procédure d'élimination de faces cachées utilise les paramètres de transformation, c'est-à-dire la configuration du terrain par rapport au plan de l'écran. Elle crée un solide plan après avoir détecté les faces cachées à partir d'une représentation de type "contour" ou modèle numérique du terrain.<sup>5</sup> Elle peut également être activée à partir d'une représentation par des courbes de niveau.



Cet algorithme procède comme l'algorithme d'estompement. Il détermine si l'élément de terrain  $T_{ij}$  est visible ou non. La première étape calcule un tableau booléen des facettes visibles (chaque élément du maillage). Ensuite on restructure l'objet en remplaçant chaque contour par la liste des contours formés des parties de lignes situées dans des  $T_{ij}$  "visibles".

La détermination des éléments visibles du terrain repose sur la méthode des masques. Puisque le Modèle Numérique du Terrain est un maillage rectangulaire, quatre sommets peuvent être spécifiés. Les deux sommets les plus rapprochés de l'observateur forment avec la verticale la coupe avant. Les plans parallèles à la coupe avant qui contiennent des éléments point du MNT sont dénommés coupes. La direction horizontale incluse dans une coupe et dirigée vers l'arrière est  $\vec{u}$ , la direction orthogonale vers l'arrière  $\vec{v}$ . Les indices de discrétisation selon  $\vec{u}$  et  $\vec{v}$  sont notés  $k$  et  $l$ .

Un masque est une surface incluse dans le plan de l'écran et dont le bord supérieur est une ligne reliant les projections des points du MNT. On lui associe un indice  $l$ . Il représente la silhouette des coupes d'indices  $l$  à  $l-1$ . Un élément du terrain  $T_{kl}$  est dit visible si la projection de  $T_{kl}$  est hors du masque d'ordre  $l$ .

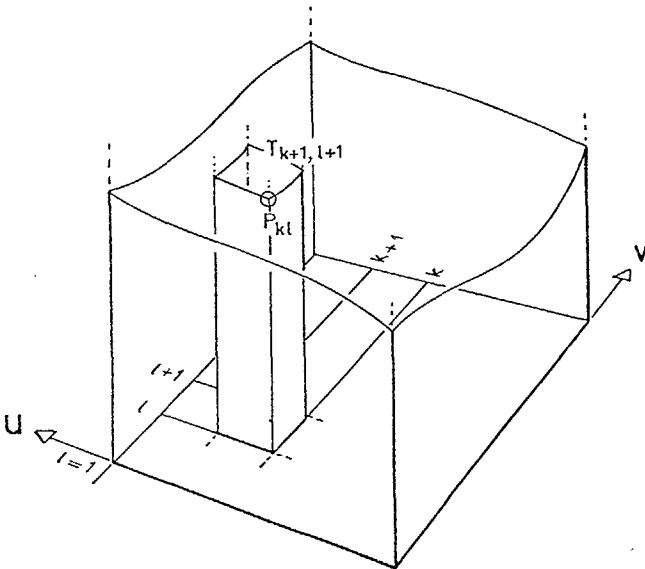


Figure 3 : Facés cachées.

On remplace chaque contour de l'objet par une liste de contours formés de segments de droite contenus dans les parties visibles du terrain ( $T_{ij}$ ). Les indices  $k$  et  $l$  désignent la position d'un point  $P_{kl}$  selon la direction verticale  $u$  vers l'arrière plan et suivant la direction orthogonale  $v$  vers l'arrière. Un élément d'une surface  $T_{kl}$  est visible si la projection du point  $P_{kl}$  sur l'écran se trouve au-delà du masque d'ordre  $l$ .

La procédure est initialisée en prenant comme premier masque la projection sur l'écran de la coupe avant ( $l = 1$ ). Si l'on dispose du masque d'ordre  $l$ , on peut déterminer si les  $T_{kl}$  sont visibles. Il faut ensuite construire le masque d'ordre  $l+1$ , c'est-à-dire insérer les points visibles de la coupe  $l$ .

Un masque est défini au plan interne par une liste d'enregistrements qui contient les coordonnées des points de la ligne supérieure. Le point  $P_{kl}$  est toujours visible. La modification du masque débute donc par l'insertion en début de liste des coordonnées de  $P_{kl}$ . Pour chaque  $P_{kl}$  on parcourt le masque jusqu'à trouver les points encadrant  $P_{kl}$ . S'il est au-dessus du segment reliant les deux points du masque, il est inséré dans la liste.

On effectue ensuite un lissage : si  $P_{k-1l}$  est également sur le masque, on supprime les points du masque entre  $P_{k-1l}$  et  $P_{kl}$ .

#### - Courbes de niveau

Cette procédure visualise les contours de niveau constant. Elle est utilisée comme procédure de création. Le traitement étant assez long, chaque courbe est affichée dès sa génération. On peut ainsi apprécier l'état d'avancement des calculs (Fig. 4).

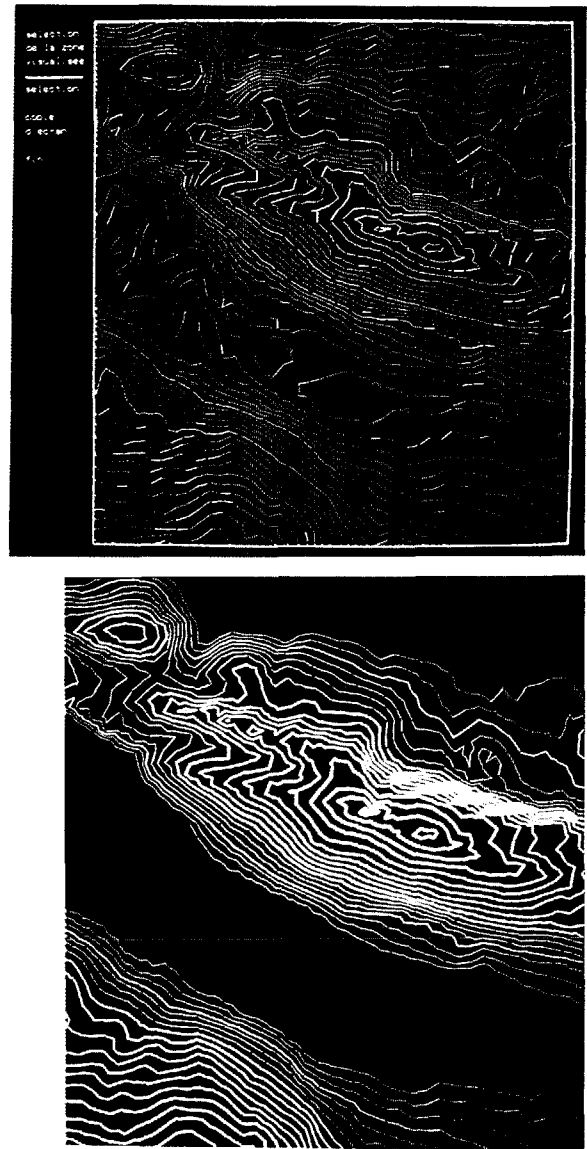


Figure 4 : Courbes de niveau.

Les courbes sont générées par une procédure récursive. Une courbe est visualisée dès sa création, permettant ainsi de suivre l'avancement des calculs.



Les données initiales sont les éléments du MNT. Les courbes sont dessinées sur la surface du terrain figuré par un maillage. Cependant ce dernier ne définit pas une surface unique. En effet, il n'existe pas de surface simple passant par les quatre coins d'une maille. Il a donc été décidé de considérer l'intérieur d'une maille comme formé de deux portions de plan. La première passant par  $P_{ij}$ ,  $P_{i+1j}$ ,  $P_{ij+1}$  et la deuxième par  $P_{i+1j+1}$ ,  $P_{i+1j}$  et  $P_{ij+1}$  (Fig. 5).

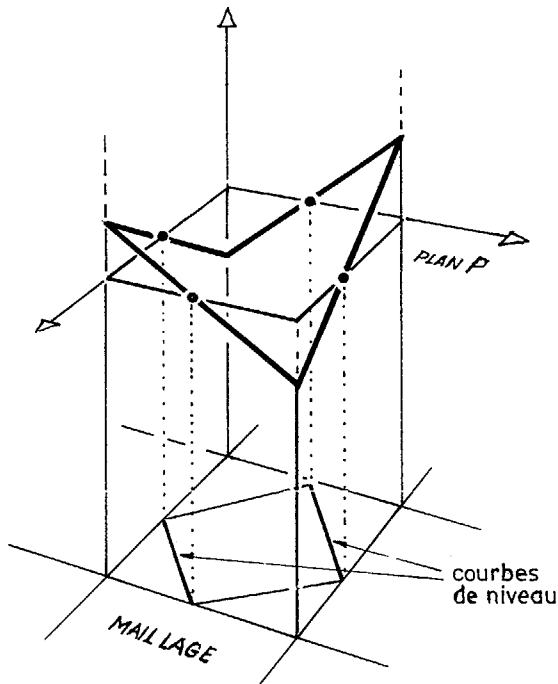


Figure 5 : Génération d'une courbe de niveau.

Un problème particulier pris en compte par l'algorithme de calcul de courbe de niveau : les lignes en traits gras coupent le plan horizontal P en quatre points (\*). Quatre courbes de niveau peuvent être envisagées sur ce maillage ; deux d'entre elles seulement sont valides.

Dans la suite, on appelle facette une portion de plan reconstituant le terrain.

L'algorithme peut facilement se réduire au calcul de toutes les courbes d'une altitude donnée. Pour chaque niveau z, on parcourt l'ensemble des facettes à la recherche de celles qui intersectent le plan horizontal d'altitude z. Si une facette réalise cette condition, on initialise une courbe puis on la prolonge. Lorsque ce prolongement est achevé, on revient au point de départ et on continue la recherche d'autres courbes.

Lors des phases de recherche et de prolongement, les facettes visitées sont marquées. Elles ne peuvent plus être choisies pour l'initialisation d'une autre courbe.

Ainsi, le problème se réduit à prolonger un début de courbe. L'algorithme utilisé pour ce traitement est récursif. Pour une facette donnée contenant une courbe on détermine la facette suivante. Lorsque la succession des facettes est connue, le calcul des coordonnées de la courbe qu'elles contiennent n'est qu'un problème d'interpolation.

Pour une facette contenant une courbe, on définit la configuration comme l'ensemble des arêtes ou des sommets où passe la courbe. Pour éviter les cas critiques, on impose à la facette suivante de posséder une configuration à deux éléments. On cherche donc parmi les facettes adjacentes celles qui réalisent cette condition. On montre que, moyennant quelques précisions sur la notion de configuration, cette contrainte impose l'unicité de la facette suivante.

Si celle-ci est marquée c'est-à-dire si elle a déjà été étudiée, on ferme la courbe. Sinon, elle devient la facette couvrante et on applique la récursion. Connaissant deux facettes successives, on calcule le point de leur section commune où passe la courbe.

Le problème des courbes non fermées passant par le bord a été résolu en entourant le MNT par des points d'altitude négative. On constitue donc un maillage plus grand où toutes les courbes sont fermées.

Enfin, il faut noter que les courbes sont orientées, c'est-à-dire que si on les parcourt suivant l'ordre d'enregistrement, les points situés plus haut sont à gauche. Ceci est réalisé en orientant les deux points initiaux d'une courbe.

Les problèmes rencontrés lors de la réalisation de cet algorithme sont de nature topologique et ont trait à certains cas particuliers. Notamment, il faut éviter que les courbes s'égarant dans les zones planes ou bien reviennent sur leurs pas lorsqu'elles passent sur une arête horizontale (en empruntant une facette pour venir et la facette adjacente pour repartir).

## 2 - LES MODES D'INTERACTION ET LE REPARTITEUR DE TACHES

Pour le système de commande, l'interactivité a été obtenue grâce à l'utilisation de menus. Ce choix n'est pas original et convient tout à fait aux langages de commande complexes.

Cependant, généralement, les menus sont figés. En effet, le répartiteur de tâches, c'est-à-dire le module de gestion des interruptions dépend des textes contenus dans les cases du menu et des tâches associées à chaque case. Or ceci est en contradiction avec les possibilités d'extension que nous nous sommes imposés.

Nous avons donc élaboré un générateur de répartiteur de tâches. Ce programme utilise un langage simple pour décrire les menus et les actions. Il génère un répartiteur spécifique au langage de commande. Notamment, il crée les ordres d'affichage des menus et les instructions de branchement sur les différentes tâches.

### a) Exemple simple

Le texte suivant est la description du langage de commande le plus simple

```

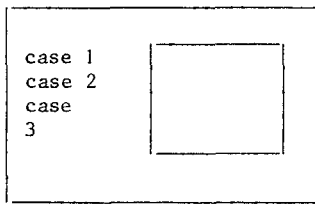
menu 0 FORMAT TEXTE A GAUCHE
1= 'case 1'
2= 'case 2'
3= 'case'/'3'

appel
1  proc1
2  proc2.
```

Pour obtenir le système de commande correspondant on procède en deux étapes. D'abord le texte ci-dessus est compilé par le générateur qui crée le code du répartiteur. Ensuite, ce dernier est lié avec les procédures proc1 et proc2.



L'exécution de l'image sur l'écran sera :



Le pointage de 'case 1' entraînera l'exécution de la procédure de création procl.

#### b) Commande conditionnelle

Le langage de commande peut contenir des instructions conditionnelles. Dans ce cas, le choix des actions dépend non seulement de la case du menu mais aussi des procédures déjà appelées.

Si l'on ajoute à l'exemple précédent :

```
3 après procl → proc31
proc2 → proc32.
```

Le pointage de la case 2 puis de la case 3 entraîne l'exécution de proc32.

#### c) Tâches complexes

Le pointage d'une case entraîne l'exécution d'une tâche. Dans ce qui précède les tâches se réduisaient à l'exécution d'une procédure de création. Mais on peut également appeler un nouveau menu ou une autre procédure d'affichage.

#### CONCLUSION

Le système de simulation et de visualisation (3d) du relief présenté n'est pas figé, il anticipe sur les évolutions prévisibles. Le générateur de répartiteur des tâches utilisé est général, il pourra être enrichi par la prise en compte de procédures de créations plus générales pour couvrir la diversité des problèmes et plus souples pour s'adapter à la spécificité des différentes applications.

Deux domaines d'applications présentent à moyen terme un grand intérêt.

Les Systèmes de Gestion de Bases de Données géographiques posent des problèmes particuliers, notamment au niveau des méthodes d'accès et de la définition des schémas conceptuels. Les performances sont directement liées aux visualisations graphiques. Le système présenté ici devrait faciliter la définition et l'évaluation des composantes d'un SGBD.

Le deuxième domaine concerne la mise en page des cartes en vue de leur édition. Les textes contenus dans une carte sont plus ou moins importants. Certains peuvent être déplacés, ils ne doivent pas être superposés à des graphismes essentiels. Il existe un ensemble de règles mal définies dont on pourrait automatiser l'application. La réalisation d'un système expert de "dessins de carte" pourrait s'appuyer sur les procédures d'édition et de dialogue présentées ici.

Il s'agit là de deux exemples liés aux besoins actuels de la cartographie. On peut envisager d'autres applications dans les domaines les plus divers car le système proposé s'applique au traitement et à la visualisation d'un solide quelconque.

#### REFERENCES

1. Computer Graphics : The Next Step in On-Line Retrieval. Jerry Borrel, 4th International On-Line Information Meeting, London 9-11 December 1980.
2. G. Nagy and S. Wagle, Geographic Data Processing, ACM Computing Surveys, 11, 2, 139, 1979.
3. "The Use of 'Digital National Land Information' : Present State and Future Possibilities", T. Kanakubc and K. Nonomura, Data for Science and Technology, Proceedings of the Seventh International CODATA Conference, Kyoto, Japan, 8-11 October 1980.
4. A. Bernard, Digitization of Relief Data and Exploitation of Digital Terrain Model at IGNF, Actes d'Auto-Carto V, 1982.
5. J.C. Davis, M.J. Mc Cullagh, Display and Analysis of Spatial Data (NATO Advanced Study Institute), John Wiley & Sons, 1973.
6. J.D. Foley and A. Van Dam, Fundamentals of Interactive Computer Graphics, Addison Wesley, 1982.
7. P. Morvan et M. Lucas, Images et ordinateur. Introduction à l'infographie interactive, Larousse, 1976.