

MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN : LE LOGICIEL BABEL

(Marc SOURIS & Dominique REMY)

RESUME - Le calcul et la représentation du relief en trois dimensions est un outil important dans beaucoup de domaines, comme la géographie bien sûr, la géomorphologie, la géologie, l'hydrologie, etc.. En dehors de l'aspect purement technique (calcul des pentes, ruptures, écoulements, etc.) la simple visualisation en 3D, sous l'angle et l'incidence voulus, apporte un complément pédagogique important lorsqu'il s'agit de phénomènes spatiaux faisant intervenir le relief. C'est surtout dans ce but que nous avons développé le logiciel Babel, programme permettant la création de modèles numériques de terrain et leur visualisation sous forme de bloc-diagrammes.

1. LA CREATION DU MODELE

Quelles données altimétriques conserver pour rendre compte du relief ? Dès que l'on ne répond pas "*l'altitude de tous les points*", on doit résoudre le problème du "*quoi garder*" (problème de la modélisation) et du "*comment retrouver les points inconnus*" (problème de l'interpolation). Plusieurs réponses ont été apportées, chacune constitue un modèle numérique de terrain (MNT) :

- le support (les points que l'on connaît et que l'on garde) est un canevas régulier, à l'intérieur duquel on applique, pour interpoler, une fonction donnée (qui peut être bilinéaire, biquadratique, bicubique sur maille rectangulaire, linéaire sur triangulation isocèle, etc.) ;

- le support est un canevas irrégulier à l'intérieur duquel on applique une fonction donnée (généralement bilinéaire sur triangulation) ;

- le support est un canevas irrégulier, à partir duquel on applique une fonction de type barycentrique ;

- le support est un canevas irrégulier, à partir duquel on applique un modèle statistique permettant d'évaluer l'altitude la plus probable en un point quelconque (Krigage).

Nous appellerons "*points de référence*" les points du plan qui servent de support au modèle et permettent l'interpolation. Bien sûr, ces points ne sont pas quelconques : ils doivent être choisis en fonction du modèle utilisé, même dans le cas d'un canevas irrégulier.

Nous avons choisi de mettre en oeuvre une méthode barycentrique. Le canevas, pour un tel modèle, peut être irrégulier. La méthode de calcul consiste en une interpolation de type barycentrique sur les huit points de référence les plus proches du point à interpoler, répartis dans les huit portions du plan (figure 1), l'importance d'un point de référence étant d'autant plus grande dans le résultat

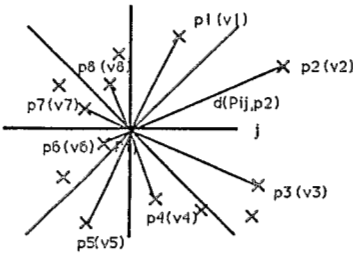


fig. 1 : l'utilisation des points de références

$$v(P_{ij}) = \frac{\sum_{l=1}^8 v(P_{lk}) \prod_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^8 d(P_{ij}, P_m)}{\sum_{k=1}^8 \prod_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^8 d(P_{ij}, P_m)}$$

fig. 2 : la fonction barycentrique pour le calcul d'interpolation

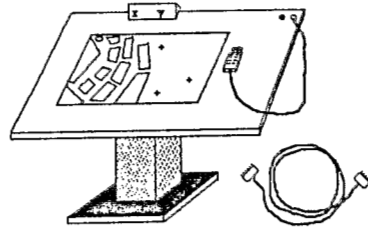
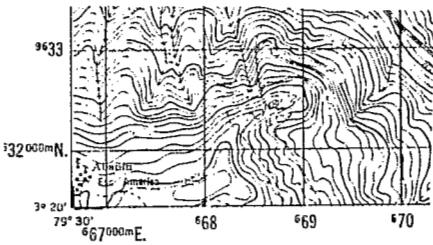


fig. 3 : La saisie des points de références se fait sur une table à digitaliser

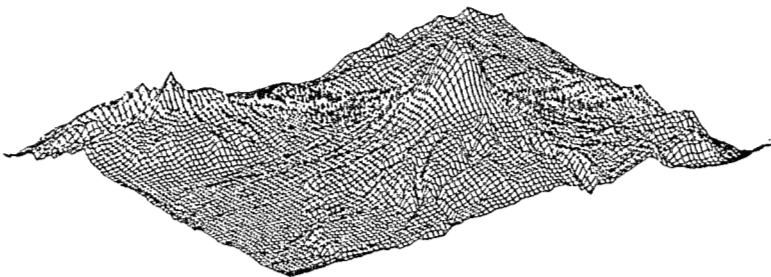


fig. 4 : représentation filaire (volcan Cotopaxi, Equateur)

du calcul que sa distance au point à interpoler est faible (par rapport aux distances des autres points au point à interpoler) (figure 2). Cette méthode ne donne pas une surface différentiable, et, n'utilisant pas de modèles locaux ou de modèle de variance, nécessite une densité de points de référence d'autant plus grande que les variations du relief sont fortes. C'est en fonction de cette variation que les points de référence doivent être choisis si cela est possible : le fonctionnement du modèle est optimal lorsque la densité des points de référence est fonction linéaire de la variation locale. Lorsque l'on dispose de l'altimétrie de base sous forme de courbes de niveaux, ce choix doit être fait lors de la saisie des points par l'opérateur.

A partir de ces points, le modèle permet d'interpoler l'altitude en chaque point du plan. En fait, on va faire ce calcul sur un canevas régulier (maille carrée) suffisamment fin pour pouvoir dire que l'on connaît par interpolation l'altitude en tout point du domaine concerné. Le logiciel Babel crée une grille de 1024×1024 pixels.

Par abus de langage, cette grille de points est également appelée *modèle numérique de terrain*. Elle n'est en fait que le résultat du modèle.

2. LA SAISIE DES POINTS DE REFERENCE

Les points de références sont saisis (position, valeur) à l'aide d'une table à digitaliser reliée à un micro-ordinateur (figure 3). Nous avons utilisé Mygale/PC pour la digitalisation des exemples présentés dans cet article. Les points isolés sont saisis, un par un (cas des cartes bathymétriques, par exemple). Les courbes de niveaux sont saisis en y choisissant suffisamment de points pour respecter à la fois l'aspect de la courbe et la distance entre les courbes adjacentes : ce sont les points saisis sur la courbe qui servent directement de points de référence. Une approche plus efficace sera d'interpréter la forme de la courbe de manière à optimiser le choix des points de références, l'opérateur n'ayant plus alors qu'à digitaliser la courbe d'une manière classique.

Les points sont saisis sur plusieurs feuilles si nécessaire (dans l'exemple présenté ici du Cotopaxi (Equateur) la saisie a été faite en 16 feuilles, représentant plus de 80000 points de référence, pour une surface de 50 km². Echelle de saisie : 1:50 000, équidistance des courbes de niveaux saisis : 40 m). Les points saisis sont ensuite recalés dans leur projection, formant un ensemble unique dans lequel l'utilisateur va définir une fenêtre de travail pour créer le modèle numérique grâce au programme d'interpolation.

3. LA VISUALISATION

Créer un modèle numérique de terrain peut servir à beaucoup de choses. Nous allons nous intéresser ici à la visualisation en trois dimensions, car, avant tout traitement, cette visualisation apporte un complément pédagogique important pour tous les problèmes faisant intervenir le relief.

Le MNT est une grille de points cotés. Représenter cette grille en 3D (choix de la rotation et de l'incidence de l'observateur par rapport au repéré de base) peut se faire de plusieurs manières :

- *représentation filaire*. Seules certaines lignes de la grille sont tracées. L'impression du relief peut être bonne, mais dépend de l'angle de rotation (les lignes sont celles de la grille). C'est néanmoins la seule méthode de représentation sur traceur à plume (figure 4). ;

- *représentation par luminosité*. Une source de lumière est placée suivant un angle de rotation et une incidence choisies. Chaque maille de la grille (espace entre quatre points adjacents) reçoit et reflète une quantité de lumière fonction de la position de sa normale avec les rayons lumineux (on supposera toujours la source de lumière à l'infini, donc des rayons lumineux parallèles). Cette quantité de lumière est donnée par la loi de Lambert (intensité proportionnelle au cosinus de l'angle de la direction de la lumière avec la normale à la surface). La visualisation de chaque facette en fonction de la luminosité réfléchie donne une excellente représentation du relief (figure 5) ;

- *représentation par luminosité avec ombrage*. L'ombre portée peut être rajoutée sur le dessin. Le calcul se fait en affectant une valeur donnée (luminosité ambiante) à toutes les facettes qui ne peuvent être directement atteintes par un rayon lumineux (figure 6) ;

- *représentation par pente, ou par orientation horizontale* (figure 7) ;

- *représentation par luminance*. Les valeurs de réflectance d'une image satellitaire sert à "éclairer" le MNT. Il faut pour cela disposer d'une image recalée géographiquement sur le modèle numérique (figure 8).

Dans toutes ces représentations, les parties cachées sont bien sûr éliminées (algorithme du peintre sur écran, ligne d'horizon pour traceur à plume).

A partir de la représentation sur écran, le tracé sur papier se fait par recopie sur imprimante à jet d'encre ou à transfert thermique, rendant par les niveaux de gris l'intensité de chaque pixel

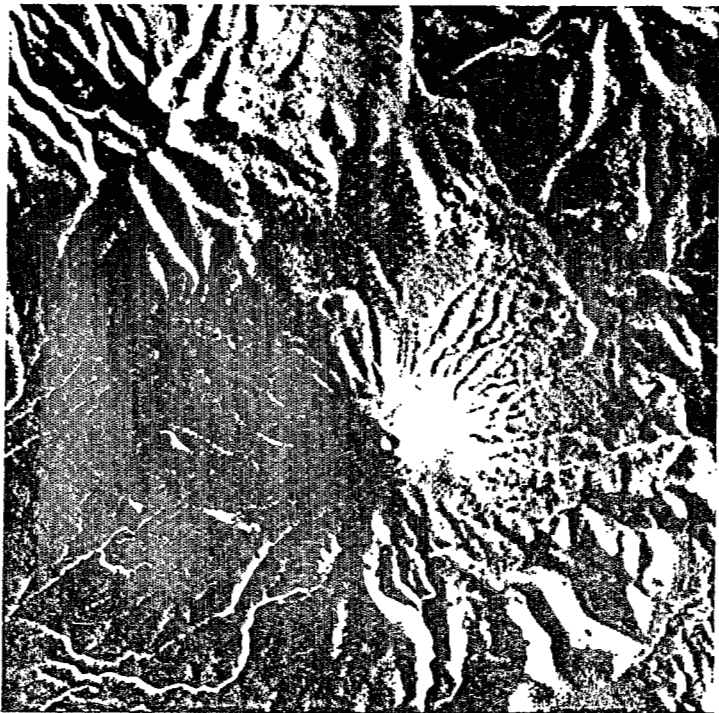
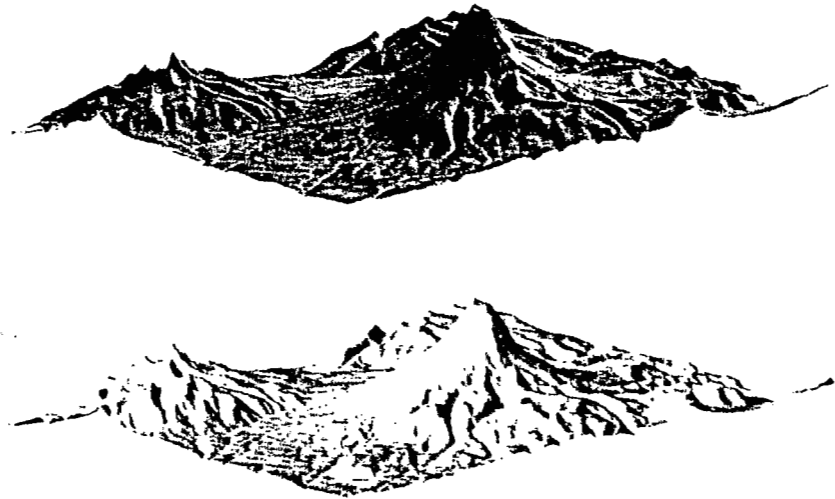


fig. 5 : représentation par luminosité



fig. 6 : représentation avec ombrage



fig. 7 : représentation par valeur de la pente

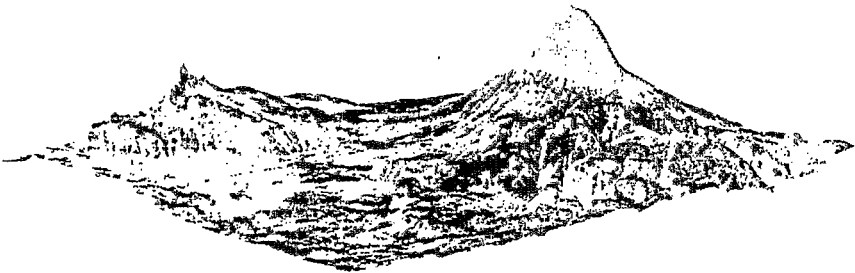


fig. 8 : représentation par luminance
(image SPOT recalée sur le MNT par visucaval, B. Lortic)