

REPRÉSENTATION ET CARACTÉRISATION DE L'INFORMATION POUR UNE GÉNÉRALISATION DU RELIEF

Pascale MONIER

Institut Géographique National - DT/SR - 2, avenue Pasteur
94160 Saint-Mandé - FRANCE

RÉSUMÉ

La généralisation a pour but de modifier les données pour une représentation à une échelle plus petite, tout en conservant leurs caractéristiques. Généraliser demande une modélisation correcte du terrain. Classiquement, le terrain est schématisé par un MNT mais celui-ci ne suffit pas. Il faut donc l'enrichir par l'apport d'une connaissance géomorphologique supplémentaire.

Introduction

Depuis plusieurs années, à l'Institut Géographique National, les planches de topographie utilisées pour les produits aux petites échelles proviennent de la généralisation manuelle de courbes de niveau. Ces planches servent de référence lors de l'addition d'autres thèmes (réseau routier, hydrographie, ...). Le passage au numérique, avec notamment la création de la BDCarto^{®1}, permettra une refaçon complète de ces cartes. Par contre, la BDCarto[®] ne contient pas d'information altimétrique. On peut penser avoir alors recours à la BDAiti^{®2}, mais, l'exploitation brutale des données altimétriques issues de celle-ci ne fournit pas des résultats cartographiques entièrement satisfaisants. Des problèmes spécifiques apparaissent, dus au besoin de généralisation.

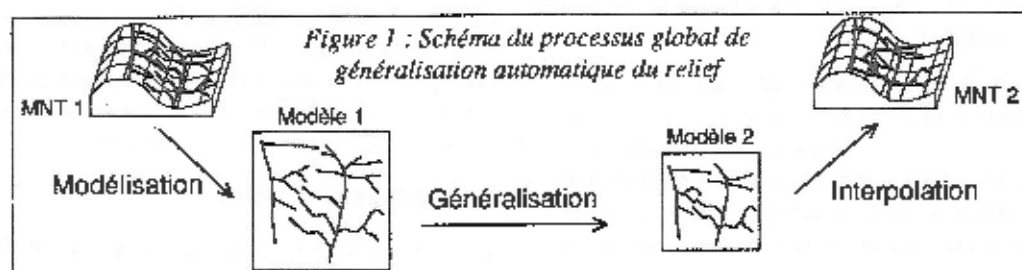
Une action de recherche a donc débuté en 1994 se fixant pour thème de travail la généralisation automatique du relief et se limitant à la prise en compte du relief et de l'hydrographie, le réseau routier n'étant pas envisagé dans cette étude. La généralisation demandant des critères précis lors du changement de résolution qu'elle implique, un cadre expérimental a été déterminé en se restreignant au passage du 1:50 000 au 1:100 000.

1. Définition d'une stratégie

Les efforts passés pour développer des systèmes composés de plus vastes connaissances ont entre autres échoué du fait de la complexité du domaine, du manque de connaissance procédurale et structurale, du manque de stratégie pour acquérir la connaissance [5]. Le premier pas consiste à définir le processus global de généralisation. Dans le but de formaliser la connaissance, une définition de ce processus a été construite en plusieurs étapes (voir Figure 1) :

- la première consiste à enrichir le modèle de données disponible ;
- la seconde est la généralisation elle-même d'un modèle composé d'éléments caractéristiques ;
- et la dernière permet d'aboutir à un modèle de type MNT à la nouvelle résolution.

Ces trois étapes sont nécessaires puisque la généralisation directe des courbes de niveau ne donne pas des résultats satisfaisants. Un modèle généralisé par la méthode de la « grille élastique » montre des courbes résultantes qui sont lissées et qui donnent des formes du terrain plutôt molles ; certaines formes caractéristiques de faible ampleur géométrique sont éliminées. De plus, cette méthode ne fait intervenir qu'une analyse planimétrique alors que, pour obtenir un rendu correct du terrain, une analyse des altitudes et surtout des éléments qui composent le relief est indispensable [9]. Aussi, un modèle de courbes de niveau est continu et ne rend possible qu'un filtrage de l'ensemble d'une région, utilisant les mêmes paramètres, le même traitement pour toute la zone. Il n'y a donc que peu de chances pour que cet espace soit généralisé correctement.



2. Généralisation

L'opération de généralisation la plus fréquemment utilisée en matière de relief est la sélection. Elle se fonde sur l'importance de l'objet. Cette notoriété répond à la notion de zone d'influence, à l'intérieur de laquelle tout autre objet voit son importance diminuer ; enfin, elle croît avec l'éloignement [4]. Les lois de la sélection obligent à créer un ordre relatif à l'objet, par exemple les sommets, avec leur altitude, leur notoriété touristique, leur importance géomorphologique, etc., afin de créer une échelle. Elles nécessitent donc une hiérarchisation préalable des éléments. Les éléments sélectionnés pour être conservés doivent organiser l'expression du terrain et édifier ainsi son architecture. En fait, ce traitement est le seul moyen de limiter la densité d'information tout en conservant la plus caractéristique.

Une autre opération fréquemment utilisée est la caricature qui, pour un objet donné, simplifie les caractères non pertinents puis exagère ceux qui sont retenus. On la définit par : une caractérisation suivie, soit d'une symbolisation, soit d'une sélection éventuellement suivie, soit d'un rehaussement, soit d'une exagération. Ainsi, les opérateurs associés à la caricature sont la sélection, deux outils d'amplification (le rehaussement et l'exagération) et un opérateur statistique (la structuration).

Une harmonisation de l'ensemble est indispensable afin d'équilibrer la sélection des objets et leur caricature tout en assurant la cohérence des relations entre les objets. Deux questions se posent alors :

- Que caricaturer ? quels objets (les structures du terrain), quelles caractéristiques (la largeur), ...
- Comment caricaturer ? par quelle méthode, ...

L'enchaînement à suivre des opérations élémentaires de généralisation dépend des objets traités et de leur environnement. Un moyen de trouver les séquences adaptées est de construire une base de connaissance des situations et des opérations. Un moyen d'obtenir celle-ci est d'analyser les opérations que réalise un cartographe expérimenté selon les situations rencontrées. Le but est :

- d'identifier un ensemble unique et suffisant d'opérateurs de généralisation ;
- de disposer de toutes les informations possibles sur les opérateurs, les détails de leurs algorithmes, l'influence des paramètres, ... ;
- d'indiquer les mauvaises actions, le degré de succès, les zones délicates.

La stratégie de généralisation cohérente et adaptée aux caractéristiques du terrain doit pouvoir traiter chaque objet ou un ensemble d'objets, elle doit déterminer : les objets à traiter en premier (la hiérarchisation des réseaux et des éléments caractéristiques les uns par rapport aux autres, les relations à maintenir entre les éléments), les opérateurs à mettre en oeuvre et les valeurs paramétriques associées aux algorithmes. Ces

choix dépendent des critères : changement de résolution, spécifications du produit à réaliser et caractéristiques essentielles de la région.

Les divers opérateurs dont on dispose ne se succèdent ni d'une manière aléatoire, ni d'une manière pré-définie. L'aspect «non déterministe» de la généralisation vient en partie de l'impossible pré-détermination de l'enchaînement des opérations. Mais, le début de cette séquence peut tout de même être imposé. En effet, un enrichissement informatif préalable des divers éléments est indispensable, qui passe obligatoirement par :

- la hiérarchisation des objets d'une même catégorie, par exemple, la hiérarchisation des drains formant un réseau de thalwegs ;
- la qualification des relations entre les objets : quelles relations existent entre les crêtes et les thalwegs ? Quelle est l'influence de l'élimination de tel objet sur les autres ?

Ensuite, seulement, peut avoir lieu la sélection des objets par l'élimination de ceux qui auront été définis comme non importants.

L'automatisation d'une telle stratégie de généralisation demande la formulation de règles clairement définies et non ambiguës. Mais la sensibilité du processus aux variations spatiales, au but de la carte et au changement d'échelle suggère un ensemble de règles relativement flexible [1].

3. Modélisation

Le but de la première étape dans le processus global de généralisation est de préparer les données pour leur généralisation. Durant cette phase, un modèle est construit progressivement qui schématisera le terrain d'une manière plus structurée et orientée vers la notion d'objet. Mais le terrain est complexe et tous les types de relief ne se modélisent pas de la même manière ; ils ne peuvent pas être décrits par les mêmes éléments caractéristiques. Il faut donc une analyse progressive de chaque type de terrain pour aboutir à un catalogue qui à chaque type fait correspondre un ensemble d'éléments caractéristiques. Par conséquent, ce modèle :

- doit fournir une description hiérarchique des caractéristiques du relief, localisées spatialement ;
- doit permettre de raisonner à différents niveaux de perception de l'espace (global/local, général/particulier).

Il n'existe ni limite, ni loi pour modéliser le terrain mais une modélisation a priori qui peut être améliorée par des essais pragmatiques. Cette phase de construction du modèle pose une à une les briques qui structureront la connaissance par niveau. Et, pour chaque niveau, il y a un besoin de caractériser l'information.

3. 1. Le niveau 0 : MNT

Le niveau le plus bas correspond en fait au MNT source qui ne donne qu'une information très locale sur l'altitude.

En effet, le niveau de connaissance se résume à un échantillon de points dont on connaît les altitudes et une formule d'interpolation qui permet de connaître l'altitude en chaque point du terrain. Le MNT représente une base d'extraction d'éléments et d'attributs caractéristiques du terrain. L'information peut être extraite par deux voies : par analyse visuelle des représentations graphiques, i.e. par visualisation, et par analyse quantitative des données numériques du terrain, i.e. par interprétation [13].

Il est cependant notable qu'un travail sur des courbes est moins simple en termes de filtrage, bruits et informations réellement intéressantes. Le MNT est plus intéressant car l'information est plus facile à traiter. Le problème principal, et non le moindre, est toujours le même : extraire les « vraies » informations par opposition aux « fausses ».

3. 2. Mesures mathématiques

A partir du MNT initial, des calculs locaux peuvent donner des renseignements sur la valeur de la pente locale, sur la courbure des lignes d'isovaleur, sur l'existence d'extrema locaux, sur la concavité ou convexité locale, ... Tous ces calculs peuvent ensuite servir de base dans la définition d'indicateurs du terrain. Le calcul de pente est la principale source d'approvisionnement des calculs statistiques et des logiciels d'extraction de réseaux de crêtes et thalwegs.

Aussi, sur une visualisation des variances, apparaissent nettement les artefacts : trous en forme de parallépipèdes orientés selon l'un des quatre axes N-S, E-O, NO-SE ou SO-NE. Ces artefacts ont une profondeur qui ne dépassent pas les 3 m, mais sont gênants lors des calculs. Le traçage des courbes de niveau les montre bien aussi puisqu'ils entraînent la formation de chapelets de courbes ou de courbes en forme de terrain de tennis. Ces artefacts sont essentiellement dus à la méthode d'interpolation linéaire et aux « erreurs » figurant dans les données de départ.

Les mesures mises en œuvre jusqu'à présent s'avèrent insuffisantes. D'autres paramètres sont utilisés en analyse géomorphométrique, qui peuvent servir pour une classification multivariée des types de paysage en régions composées de caractéristiques disparates les uns par rapport aux autres. Pour cela, la signature géométrique, définie comme un ensemble de mesures qui décrivent une forme topographique de façon à ce qu'elle permette de distinguer des paysages géomorphologiquement disparates, et qui caractérise une topographie continue [10], fera l'objet de nos prochaines expériences.

3. 3. Extraction des crêtes et thalwegs

Le principe global de la méthode utilisée (méthode de ruissellement, voir [6]) part du MNT, image maillée de la zone à traiter. Une fois extrait sous sa forme vectorielle, le réseau de thalwegs est composé d'un ensemble de drains hiérarchisés. Les crêtes ne sont pas gérées, elles sont déduites des bassins versants³ qui délimitent les

zones de partage des eaux. Le problème de la sélection des lignes de thalwegs à conserver reste entier, étant donné que ce type d'algorithme tend à en extraire trop. Comment conserver les « vrais » thalwegs, ceux qui sont significatifs ? Une première approche consiste à comparer ce réseau de thalwegs au réseau hydrographique de la région.

3. 4. Une partition de l'espace

La formalisation d'une structure échelonnée de l'espace est une abstraction de la hiérarchie de différents types de relief. Cette structure hiérarchique organise les objets spatiaux en groupes tels que chaque groupe ait la même structure, le même type d'objet et les mêmes opérations appliquées. La définition de chaque zone est gérée par ses objets, ses relations et les règles qui les gouvernent.

Dans les régions au terrain accidenté, thalwegs et crêtes s'entrelacent. Plus le terrain est mou (plat, comportant peu de collines), plus l'entrelacs se détend et s'espace. En vallée, il est nul ou presque car il y a très peu de crêtes. Un moyen de juger du degré d'entrelacement des deux réseaux consiste à estimer les relations entre les extrémités du réseau de crêtes (partitionné en plusieurs petits réseaux connexes) et les confluences du réseau de thalwegs car il existe des relations naturelles entre elles. Pour cela, on recherche l'extrémité de crête la plus proche de chaque confluence puis, on sélectionne les crêtes ayant été désignées au moins trois fois. En reliant les extrémités de crête ainsi sélectionnées, on s'aperçoit que les polygones tracent une partition de l'espace brute mais intéressante : la vallée et les différents types de reliefs montagneux sont bien délimités.

3. 5. Extraction d'autres éléments caractéristiques et affinage de la partition

A partir des indicateurs de terrain, il est possible de définir des zones par des mécanismes d'agrégation. Chacune de ces zones regroupe les pixels pour lesquels les indicateurs ont un comportement similaire, par exemple, la variabilité de la pente change selon la zone. Les caractéristiques de ces zones peuvent être décrites sous la forme d'objets et de relations entre les objets. Ainsi, peuvent être extraits des éléments caractéristiques de ces zones et, inversement, l'extraction des éléments peut aider à mieux délimiter ces zones. De plus, ces objets sont ensuite hiérarchisés lors de la phase de généralisation, ce qui permet la sélection et ensuite la caricature de certains d'entre eux.

A partir des réseaux de crêtes et de thalwegs, un ensemble de paramètres de texture du terrain peuvent être calculés pour déterminer la rugosité d'une surface : densité du drainage, densité du nombre de sources, densité du nombre de sommets, degré de parallélisme des crêtes, etc. Ces valeurs peuvent être complétées par d'autres aspects évalués sur l'axe vertical tels que le relief local ou le relief de drainage. Les calculs

d'hypsométrie mesurent les interrelations entre la surface et l'altitude. La plupart des informations importantes sur le terrain sont alors contenues dans ces mesures [3].

3. 6. Le dernier niveau : types homogènes

De tout ce procédé très progressif, devrait résulter une partition du terrain en zones renfermant chacune un type homogène de terrain. Cette partition décrirait alors un niveau de précision, parmi un grand nombre de niveaux possibles, et permettrait ainsi de maîtriser l'espace de travail.

Les données test disponibles proviennent de la BDAlti®, elles couvrent la région de Valence (Drôme) intéressante pour la diversité de ses paysages : une vallée alluvionnaire encadrée par un relief cévenol et un relief alpin et pré-alpin.

4. Interpolation

La dernière phase du processus global de généralisation consiste en une interpolation s'appuyant sur les éléments caractéristiques. Elle doit fournir un MNT prêt à être exploité pour la production de cartes. Les caractéristiques et les singularités de l'interpolation d'un MNT à partir d'un échantillon topographique sont données par les faits suivants :

- la qualité du MNT résultant est déterminée par la distribution et la précision des points d'origine (processus d'échantillonnage) et la capacité du modèle d'interpolation sous-jacent (une hypothèse sur le comportement du terrain) ;
- les plus importants des critères pour choisir une méthode d'interpolation sont le degré avec lequel les éléments structurels peuvent être pris en compte et le degré avec lequel la fonction d'interpolation peut être adaptée au caractère inhomogène du terrain ;

• d'autres critères qui peuvent influencer la sélection d'une méthode particulière sont le degré de précision désiré et l'effort demandé au logiciel [13].

Les deux principaux buts que l'on cherche à atteindre sont l'exactitude altimétrique aussi bonne que possible, qui peut être vérifiée par des mesures, et le respect des formes du paysage avec une représentation de ses éléments caractéristiques, le contrôle de ces éléments est plus difficile [2].

Conclusion

L'étape de modélisation est très importante en vue de la généralisation. Pour l'instant, nous nous intéressons avant tout à un partitionnement plus fin de l'espace. Ce partitionnement rejoint ce qui a été proposé en [14] mais nous considérons ici un partitionnement hiérarchique et construit récursivement. Pour l'heure, seul un premier niveau de partitionnement est déjà développé, qui donne des résultats assez satisfaisants et intuitifs. Le travail sur les mesures (et la caractérisation) devrait nous permettre d'avancer dans la direction d'une décomposition récursive du paysage.

En parallèle, il faut approfondir la caractérisation des types de relief en fonction des éléments qui les composent. Pour cela, une analyse dans le domaine des fréquences peut apporter une aide, notamment une analyse par ondelettes. L'idée vient du fait que, en 3D, une analyse par ondelettes va donner, pour chaque fréquence, une carte de répartition. Une méthode d'analyse est de projeter sur un plan chacune des fréquences en appliquant un poids selon son importance. L'image résultante donne le comportement de chaque fréquence sur l'image et, selon les résultats, il sera peut-être possible de voir les zones dans l'image et définir les critères adaptés, de trouver des classes de configuration identique.

Notes

¹ La base de Données Cartographique comporte les informations géographiques de base sous forme numérique à précision approximativement décimétrique.

² La Base de Données Altimétrique représente la couverture complète de l'information altimétrique en France sous forme de courbes de niveau, saisie par numérisation manuelle de document (1:25 000 et 1:50 000), scannage de document (1:25 000 et 1:50 000) ou restitution photogrammétrique numérique (1:30 000 et 1:60 000).

³ Un bassin versant est une étendue de terrain constituée par l'ensemble des terres, telle que les eaux tombées en n'importe quel point, ruissellent naturellement jusqu'à atteindre finalement le cours d'eau, soit de manière directe, soit par l'intermédiaire de l'un des affluents.

Références

- [1] K. Beard. *Map generalization: making rules for knowledge representation*, chapter Constraints on rule formation. in Buttenfield and McMaster [3], pages 121-135, 1991.
- [2] E. Beauvillain and O. Jamet. Evaluation de la qualité d'un MNT issu de corrélation automatique de photographies aériennes. in SFPT [12], pages 108-112, 1994.
- [3] B. Buttenfield and R. McMaster. *Map generalization: making rules for knowledge representation*. Longman Scientific & Technical, 1^e édition, 1991. Articles based on papers delivered at a symposium held in april 90 in Syracuse, N.Y.
- [4] R. Caron. La Cartographie comme rhétorique ou éléments pour un éloge du cartographe. *Bulletin d'Information de l'Institut Géographique National*, 80:1:3-14, août 1977.
- [5] S.F. Keller. On the use of case-based reasoning in generalization. in SDH [11], pages 1118-1132, 1994.
- [6] D. Le Roux. *Modélisation des écoulements sur un modèle numérique de terrain. Application aux crues et inondations du 22 septembre 1992 à Vaison-la-Romaine*. Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes, 6 juillet 1993.
- [7] D.J. Maguire, M.F. Goodchild and D.W. Rhind, editors. *Geographical information systems: principles and applications*. Longman Scientific & Technical, 1991.
- [8] D.M. Mark. Geomorphometric parameters: a review and evaluation. *Geografiska Annaler*, 57a(3-4):165-177, 1975.
- [9] E. Moreau. Application à la cartographie des modèles numériques de terrain, calculés par la méthode de la grille élastique. Mémoire de soutenance de diplôme d'ingénieur, Institut Géographique National, Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg, octobre 1992.
- [10] R.J. Pike. The Geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. *Mathematical Geology*, 20(5):491-511, 1988.
- [11] SDH. *Sixth international symposium on Spatial Data Handling*, 5-9 septembre 1994. Edinburgh, Scotland.
- [12] Actes du colloque organisé par la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection et par la Remote Sensing Society. *Qualité de l'interprétation des images de télédétection pour la cartographie*, 1-3 septembre 1994. Grignon, France.
- [13] R. Weibel and M. Heller. Digital terrain modelling, in *Geographical information systems: principles and applications*, Maguire et al. [7], pages 269-297, 1991.
- [14] R. Weibel. *Konzepte und Experimente zur Automatisierung der Reliefgeneralisierung*. PhD thesis, Geographisches Institut Universität Zürich, 1989.