

DE NOUVEAUX OUTILS DE GÉNÉRALISATION NUMÉRIQUE

Par Sébastien MUSTIÈRE, François LECORDIX

Institut Géographique National 2, av. Pasteur - 94165 Saint-Mandé CEDEX
sebastien.mustiere@ign.fr francois.lecordix@ign.fr

I. Introduction

La disponibilité de bases de données géographiques et d'outils de cartographie numérique devait ouvrir de nouvelles opportunités pour réaliser plus rapidement les cartes papier à différentes échelles. Or il faut observer que malgré les fortes évolutions obtenues depuis 15 ans, de nombreuses cartes de séries sont encore directement issues des travaux de cartographie manuelle effectués il y a plus de vingt ans. Cette observation est d'autant plus exacte que l'échelle de la carte est éloignée de l'échelle de constitution des bases de données existantes.

Ce blocage dans l'utilisation des bases de données pour la cartographie papier résulte des problèmes de la généralisation numérique. La généralisation a pour objectif de permettre de représenter les données d'information géographique dans un espace plus petit que celui des données d'origine tout en conservant au mieux leurs caractéristiques géométriques et sémantiques. Si les techniques de généralisation en manuel étaient maîtrisées par des experts cartographes, la généralisation numérique a longtemps constitué un obstacle rédhibitoire pour la réalisation de nouvelles cartes. Mais dans ce domaine des solutions numériques apparaissent. Cet article présente quelques unes de ces solutions et des résultats obtenus au laboratoire Conception Objet et Généralisation d'Informations Topographiques (COGIT) de l'Institut Géographique National, en particulier dans le domaine des données routières qui constitueront pour cet article la majorité des exemples.

II. Existant en méthode traditionnelle

De manière traditionnelle, pour réaliser la généralisation d'informations géographiques d'une carte, le cartographe procède à une analyse des données avant toute opération graphique. Cette analyse vise à déterminer quels sont les messages importants à conserver sur la carte généralisée en respectant les contraintes de lisibilité de la carte. L'importance d'un élément est jugée en fonction de trois critères [Weger 94]:

- *Valeur intrinsèque* qui est fonction du thème de la carte ; par exemple pour la carte routière au 1 : 1 000 000 publiée par l'IGN (carte 901) les chemins de grande randonnée sont supprimés ; par contre sur la carte à la même échelle des sentiers de grande randonnée (carte 903) ceux-ci sont conservés.

- *Valeur de localisation* : importance d'un détail pour se localiser sur la carte ; par exemple une maison isolée sera conservée car elle permet de se repérer, alors que dans un village elle pourra être sans dommage supprimée ou agrégée avec d'autres.

- *Valeur relative* : importance relative locale des objets entre eux incitant à privilégier telle ou telle information ; ainsi un petit virage au milieu d'une ligne droite sera plus facilement conservé par rapport à ce même petit virage situé au milieu d'une série de virages plus importants.

L'analyse étant faite, le cartographe dispose de nombreux opérateurs possibles pour réaliser la généralisation. Les opérateurs géométriques de généralisation peuvent être classés en fonction du nombre d'objets traités [AGENT 99] :

1. Opérateurs travaillant sur un objet unique :

- Simplification : élimination de détails (Cf. Figure 1).

- Changement d'implémentation : transformation d'un objet d'une représentation à un autre (surface à ligne ou point, ligne à point) ; par exemple un échangeur avec plusieurs bretelles sera transformé en un carrefour représenté par un point (Cf. Figure 2).

- Caricature : exagération des formes d'un objet (Cf. Figure 3).

2. Opérateurs travaillant sur un objet unique ou sur un ensemble d'objets :

- Élimination : suppression d'un ou d'un ensemble d'objets d'une classe suivant des critères géométriques ou sémantiques.

- Déplacement : décalage d'un ou d'un ensemble d'objets trop proches les uns des autres (Cf. Figure 4)

3. Opérateurs s'appliquant sur un ensemble d'objets :

- Agrégation : rassemblement d'objets entre eux, soit par amalgame (exemple : fusion de surfaces), soit par association, soit par typification (Cf. Figure 5).

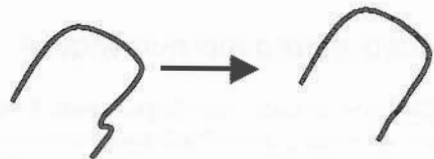


Figure 1 : Simplification de route

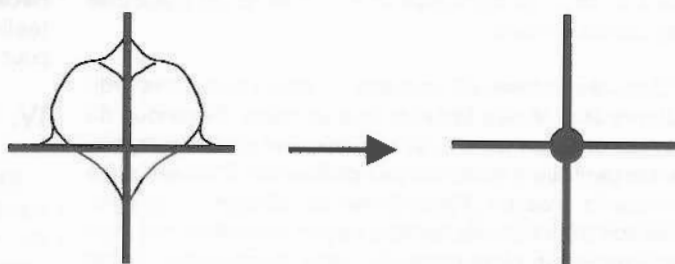


Figure 2 : Changement d'implémentation d'échangeur



Figure 3 : Caricature de routes

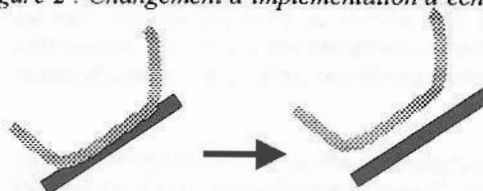
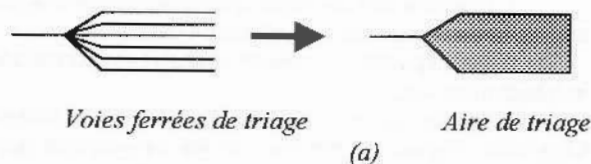


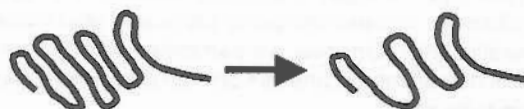
Figure 4 : déplacement de routes



Voies ferrées de triage

Aire de triage

(a)



(b)

Figure 5 : Différentes agrégations : (a) Association

(b) Typification (ou schématisation) de virages

Après application d'un ou de plusieurs opérateurs de généralisation, le cartographe valide immédiatement le résultat obtenu et peut, si le résultat ne lui satisfait pas, essayer une autre solution en appliquant un ou plusieurs autres opérateurs.

La difficulté de la généralisation résulte, d'une part, de l'existence de nombreuses règles – et d'exceptions – de généralisation qui sont loin d'être manichéennes et, d'autre part, d'une formalisation de ces règles assez vague. L'apprentissage de la généralisation nécessite donc une grande pratique et celle-ci n'est maîtrisée que par quelques cartographes spécialistes qui ont eu à œuvrer lors de la réalisation de cartes de série effectuées il y a plusieurs années.

Avec le développement des SIG et de données numériques localisées précisément par rapport au terrain, le besoin en généralisation cartographique est réapparu. Pour rédiger des cartes à une échelle inférieure à l'échelle de saisie en tenant compte de l'emprise des symboles cartographiques, il est nécessaire de résoudre à nouveau tous les problèmes de généralisation cartographique rencontrés dans les années 60 et 70 par les précédents cartographes lors de la création manuelle des séries (exemple : série verte IGN au 1 :100 000, série rouge au 1 :250 000). Mais l'outil a changé puisqu'on n'utilise plus le scribbling mais l'ordinateur et les logiciels de rédaction numérique.

III. Lacunes du numérique

Il est désormais devenu nécessaire de pouvoir réaliser numériquement la généralisation en cartographie. Tout d'abord parce que le numérique possède de nombreux avantages (stockage sans dégradation, facilité de modification et de duplication...), et ensuite parce que les données géographiques sont maintenant recueillies sous la forme de bases de données à partir desquelles on souhaite, entre autres, réaliser des cartes.

Ce besoin d'outils numériques d'aide à la cartographie a été compris dès les années 70. Des travaux ont alors été menés dans deux directions principales : la création d'outils de dessin sur ordinateur pour remplacer les outils de dessin traditionnels, et la création d'algorithmes qui utilisent la capacité de calcul des ordinateurs pour faciliter le travail des dessinateurs.

Bien que les logiciels de dessin (ou plus spécifiquement de cartographie) deviennent de plus en plus ergonomiques, l'expérience montre que l'utilisation de ceux-ci nécessite toujours un travail long et interactif, et donc extrêmement coûteux. En effet si le numérique offre certains avantages, comme par exemple la facilité d'annuler facilement ce qui vient d'être fait si une erreur a été commise,

il offre aussi certains désavantages, comme la résolution limitante des écrans qui empêche une vision d'ensemble de la carte de manière immédiate. Les logiciels de dessin n'ont donc pas permis, pour l'instant, de réduire sensiblement le coût de fabrication des cartes, et en particulier des cartes en série.

Dans les années 70, la mémoire et la vitesse des ordinateurs étaient des facteurs très limitants. Beaucoup de travaux en informatique, et en particulier en cartographie, se concentraient donc sur ces problèmes. L'accent a été mis sur la création d'algorithmes de filtrage ou de compression (réduction du nombre de points nécessaires pour représenter un objet dans une base de données), un de ces algorithmes est le célèbre algorithme de Douglas et Peucker (73). Par ailleurs on s'est vite aperçu que les dessins réalisés numériquement avaient un aspect très « anguleux », des algorithmes de lissage ont alors été développés.

La relative simplicité et efficacité de ces algorithmes ont fait leur succès. Et encore actuellement, la plupart des SIG regroupent sous le terme algorithmes de généralisation ces algorithmes de lissage et filtrage, et seulement ceux-ci. C'est-à-dire qu'ils contiennent des algorithmes de compression (qui n'est pas une opération de généralisation), et de lissage (qui est une petite partie des opérations de généralisation). On peut en particulier noter l'absence d'outils de caricature, une des opérations primordiales de la généralisation.

Enfin, une autre lacune des SIG qui gêne la généralisation numérique est le manque d'outils d'analyse. Par exemple l'absence d'outils de détection de conflits graphiques est limitante à deux niveaux : tout d'abord cela oblige les dessinateurs à parcourir la carte de manière exhaustive pour trouver où se trouvent les principaux problèmes, et ensuite cela interdit toute utilisation automatique des algorithmes de généralisation qui ont besoin d'être guidés pour pouvoir être automatisés.

Au début des années 90, Intergraph a proposé avec Map Generalizer une boîte d'outils d'opérateurs de généralisation. Mais leur utilisation s'est avérée difficile en production car le travail était principalement interactif et nécessitait à la fois du temps et du personnel spécialisé en cartographie ; de plus l'absence de symbolisation dans le logiciel rendait son utilité très faible pour la généralisation du réseau routier [Rousseau et al, 94].

On aboutit donc actuellement à la situation paradoxale où les outils numériques permettent de créer des cartes soit trop onéreuses du fait des coûts des personnels spécialisés et du matériel informatique utilisés, soit de moins bonne qualité que celles obtenues par réutilisation,

après numérisation, des cartes créées autrefois par des méthodes manuelles traditionnelles de généralisation. De nouveaux outils numériques de généralisation, automatiques et de bonne qualité cartographique, sont nécessaires pour renverser cette tendance et pouvoir réellement exploiter les bases de données géographiques pour de la cartographie.

IV. De nouveaux outils numériques

En 1998 dans le cadre de l'Organisation Européenne des Etudes en Photogrammétrie Expérimentale, des tests ont été réalisés par différents instituts et universités de cartographie pour, entre autres, généraliser au 1 : 250 000, avec différents logiciels, des données routières saisies au 1 : 50 000. L'analyse des résultats [OEEPE 98] de ces tests a nettement montré la nécessité de disposer, d'une part, de différents algorithmes pour généraliser les divers types de lignes routières possibles (simplification, caricature, schématisation) et, d'autre part, d'outils d'analyse de la géométrie de la ligne, ou de la portion de ligne, pour détecter le type des conflits et choisir l'opérateur de généralisation adapté pour résoudre le conflit.

Afin d'automatiser la généralisation, des algorithmes ont donc été créés pour formaliser et automatiser :

1. chacune des opérations typiques de généralisation et en particulier les opérations de caricature,
 2. les capacités humaines d'analyses graphiques et géographiques,
 3. le choix de "où" et "quand" appliquer telle opération.
- Autrement dit des algorithmes ont été développés pour remplacer « la main, l'œil et le raisonnement » du cartographe.

Ces algorithmes ne sont pas décrits en détail ici. Nous nous limitons à en illustrer quelques uns qui s'appliquent tout particulièrement aux routes.

Algorithmes de caricature

A titre d'exemple de fonctionnement de ces algorithmes, détaillons les grandes lignes de l'algorithme accordéon [Plazanet, 96] qui s'applique sur une série de virages et dont le résultat est illustré en figure 7 ;

- sur une série de virages empâtés (figure 6a), les points d'inflexion de la ligne sont détectés, ceci permet de délimiter chacun des virages (figure 6b) ;
- la direction principale de chaque virage détecté est calculée (figure 6c) ;
- l'élargissement nécessaire pour que le virage devienne lisible est calculé pour chaque virage en fonction de la symbologie utilisée (figure 6d) ;
- chaque virage est écarté de la quantité calculée ci-dessus, perpendiculairement à sa direction principale (figure 6e) ;
- l'ensemble des virages est raccordé (figure 6f).

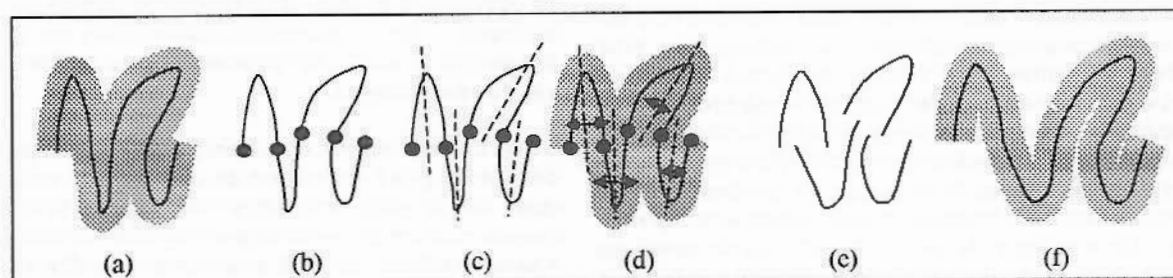


Figure 6. fonctionnement de l'algorithme accordéon.

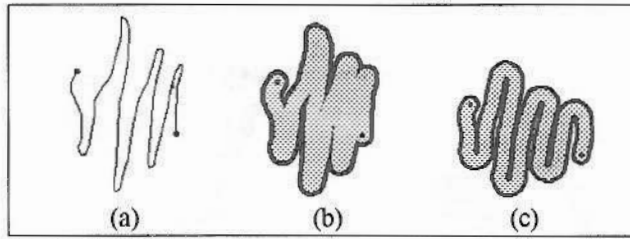


Figure 7. Série de virages non symbolisée (a), symbolisée (b), et traitée avec accordéon (c)

Dans le même esprit que l'accordéon (c'est-à-dire à partir d'une analyse de la géométrie et de la symbolisation des lignes), d'autres algorithmes ont été développés, chacun pour réaliser une opération particulière de caricature ou

de typification. Ainsi l'algorithme «schématisation» supprime un virage dans une série (cf. figure 8) [Lecordix et al, 97], les algorithmes «faille-max» (cf. figure 9c) et «faille-min» (cf. figure 9d) écartent un virage isolé de deux manières différentes [Mustière, 98].

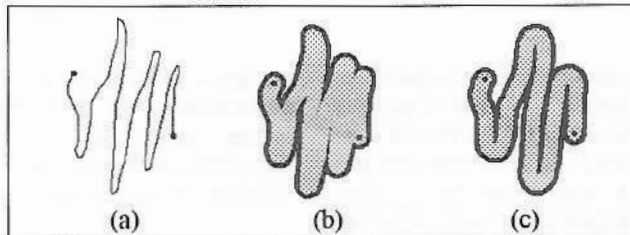


Figure 8. Série de virages non symbolisée (a), symbolisée (b), et traitée avec accordéon (c)

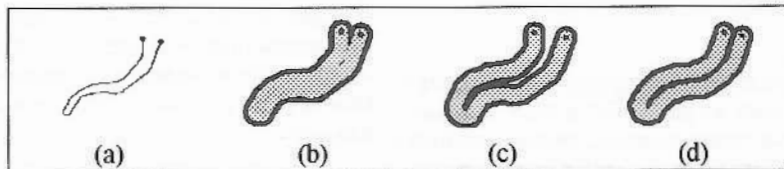


Figure 9. Virage isolé non symbolisée (a), symbolisée (b), et traitée avec faille-max (c) et faille-min (d)

Outils d'analyse

De même, des outils d'analyse ont été développés. Ainsi l'algorithme «segmentation-sinuosité» [Plazanet, 96] découpe une ligne en zone de sinuosité homogène (cf. figure 10b), la sinuosité étant définie à partir de l'étude de

la répartition des points d'inflexion sur la ligne ; l'algorithme «segmentation-lisibilité» [Mustière, 98] recherche lui les zones où des conflits d'empâtement apparaissent (cf. figure 10c), l'empâtement étant calculé à partir de l'étude de la distance des bords du symbole à l'axe central de la ligne.

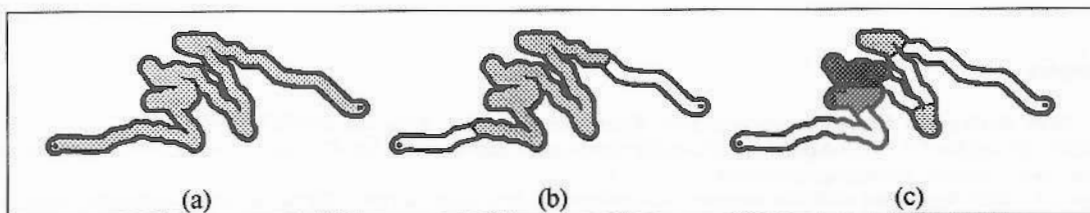


Figure 10. Arc symbolisé (a) puis découpé en fonction de la sinuosité (b) ou de la lisibilité graphique – en gris clair virage isolé empâté, en gris foncé série de virages empâtés - (c)

Enchaînement des algorithmes

Enfin, les outils d'analyse et les algorithmes de caricature et de lissage, ont été enchaînés afin de créer un outil de généralisation des routes [Mustière, 98]. Cet enchaînement est fait à partir d'un ensemble de règles, dont par exemple :
 - si un virage isolé est empâté, il faut l'élargir avec l'algorithme faille-max,
 - si une série de virages est empâté, il faut l'élargir avec l'algorithme accordéon,

- mais si l'algorithme accordéon a créé un arc trop éloigné de sa position d'origine il vaut mieux annuler cette opération et enlever des virages avec l'algorithme schématisation.
 - etc.

Les résultats d'une telle approche sont illustrés en figure 11, où l'on peut comparer deux zones avant et après généralisation automatique des routes obtenue en quelques secondes de calcul.

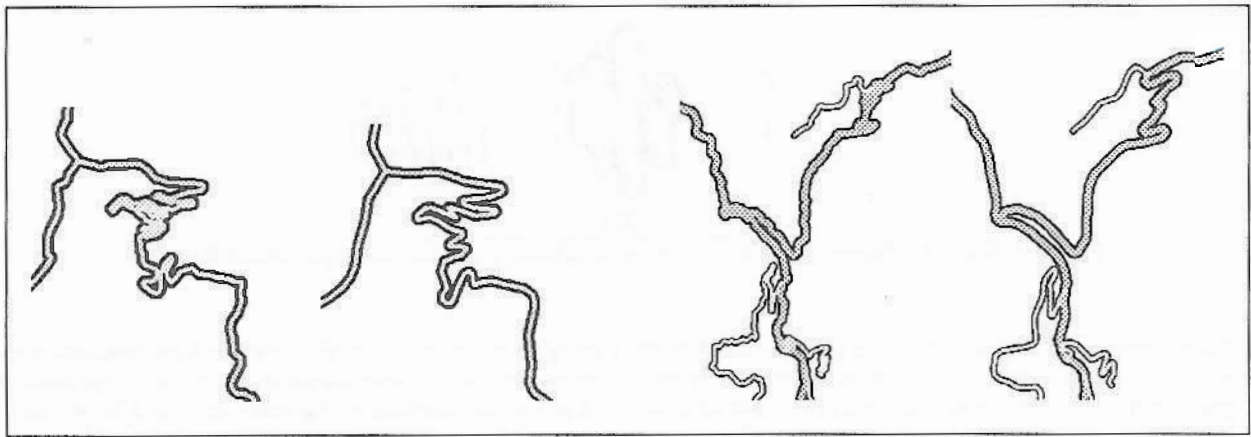


Figure 11. Deux zones avant et après traitement automatique de généralisation

Si les exemples présentés dans cet article se sont limités au cas des routes, il faut signaler qu'il existe aussi des méthodes similaires pour généraliser les bâtiments avec des outils de détection de conflit, de résolution par des opérateurs de simplification, caricature, agrégation, typification et déplacement, et d'enchaînement de ces algorithmes [Regnaud 97 ; Hangouët 98 ; Ruas, 99].

V Conclusion

Après les efforts de recherche en généralisation entrepris ces dernières années en particulier à l'IGN, les nouveaux outils présentés ci-dessus sont désormais arrivés à maturité pour être industrialisés et exploités en production. Ainsi, les nouvelles cartes IGN issues des bases de données pourront bénéficier de ces innovations.

D'autre part, le projet européen AGENT (projet ESPRIT/LTR/24939 [Lamy et al, 99]), introduit ces algorithmes dans le SIG LAMPS2 de LaserScan. Ce projet utilise les principes Multi-Agents développés en intelligence artificielle pour guider l'utilisation des algorithmes de généralisation et en

particulier déterminer les niveaux d'analyse adaptés à la généralisation des objets de la carte. Le but de ce projet est de fournir un logiciel de généralisation automatique qui adapte le résultat des traitements aux spécifications fournies par l'utilisateur.

Il est à noter que de nombreuses opérations de généralisation, et en particulier celles traitant un ensemble d'objets (le réseau routier, les bâtiments d'une ville, etc.) non présentées ici, nécessitent une gestion complexe des relations entre objets. Ces opérations ne peuvent donc être aisément implémentées que dans des SIG gérant la topologie.

La cartographie, au sein des SIG, s'oriente vers des processus de plus en plus automatisés et s'adaptant de plus en plus aux besoins individualisés des utilisateurs. Le début de la suppression du verrou de la généralisation permet d'espérer, dans l'avenir, la meilleure exploitation possible des bases de données géographiques pour toute utilisation cartographique tout en conservant l'esthétisme obtenu par les anciens cartographes.

Bibliographie

- AGENT, 1999 *State of the Art and Selection of Basic Algorithms* Université de Zurich. ESPRIT/LTR/24 939
- Douglas D.H. & Peucker T.K. 1973 *Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or it's Caricature*. The Canadian Cartographer Vol 10(2) pp 112-122
- Hangouët J.-F. 1998. *Approches et Méthodes pour l'Automatisation de la Généralisation Cartographique; Application en bord de ville*. PhD report. Univ. Marne-la-vallée
- Lamy, S., Ruas, A., Demazeau, Y., Jackson, M., Mackaness, W. A., and Weibel, R., 1999, *The Application of Agents in Automated Map Generalisation*. Proceedings of the 19th International Cartographic Conference, Vol 2, p. 1225-1234.
- Lecordix F., Plazanet C., Lagrange J.-P., 1997. *A Platform for Research in Generalization: Application to Caricature*. Geoinformatica 1:2, pp 161-182.
- Mustière S. 1998. *Généralisation Adaptative du Linéaire Basée sur la Détection d'Empâtement*. Bulletin d'Information de l'IGN no 67, Recherche 97.
- OEEPE 1998 *First results on the OEEPE test on generalisation*. OEEPE Newsletter (1)
- Plazanet C. 1996. *Enrichissement des bases de données géographiques : analyse de la géométrie des objets linéaires pour la généralisation cartographique (application au routes)*. Rapport de Thèse, Université. Marne-la-Vallée / IGN
- Regnaud N. 1997. *Généralisation du bâti: Structure spatiale de type graphe et représentation cartographique*. Thèse de doctorat. Laboratoire d'Informatique de Marseille.
- Rousseau D., Rousseau T., Lecordix F., 1994, *Expertise de Map Generalizer logiciel de généralisation interactive d'Intergraph*. Rapport SR-IGN : 940051/S - RAP
- Ruas, A. 1999. *Modèles de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie*. Thèse de Doctorat. Université Marne-la-Vallée.
- Weger G. 1994 *Cours de cartographie*. Ecole Nationale des Sciences Géographiques.