

PROPAGATION DES DÉPLACEMENTS PENDANT UN PROCESSUS DE GÉNÉRALISATION

Par Cristel LEGRAND*, Cécile DUCHENE*, François LECORDIX**

*IGN France, Service de la Recherche, Laboratoire COGIT, 2 avenue Pasteur, 94165 Saint-Mandé Cedex, France

**IGN France, Service de la Recherche, Projet Nouvelle Carte de Base, 2 avenue Pasteur, 94165 Saint-Mandé Cedex, France

cecile.duchene@ign.fr, francois.lecordix@ign.fr

Résumé

Dans une approche localisée et pas à pas de généralisation cartographique, l'un des algorithmes appliqués sur les routes consiste à déplacer ou à déformer des segments de routes pour résoudre les conflits d'empâtement ou de superposition. Pour maintenir les relations topologiques, les déplacements doivent être propagés aux objets voisins en introduisant un amortissement. Les algorithmes de propagation amortie qui agissent à travers le réseau (propagation calculée en fonction de l'abscisse curviligne) présentent deux défauts : ils peuvent introduire des erreurs topologiques, et seuls les objets connectés topologiquement sont affectés par la propagation.

Dans ce papier, nous étudions une autre approche pour la propagation amortie des déplacements, qui agit à vol d'oiseau au lieu de la solution à travers le réseau. La propagation est initiée par un ou plusieurs objets initiateurs qui sont déplacés ou déformés. La propagation amortie sur les objets voisins est calculée en fonction de leur distance à vol d'oiseau aux objets initiateurs. Ce papier détaille l'algorithme développé et analyse les résultats obtenus.

1 Introduction

Ce papier présente les résultats d'un stage d'été d'une étudiante en Master. Ce stage se situait dans le contexte de la généralisation cartographique automatique. Notre approche de la généralisation est localisée et pas à pas comme proposée dans [Brassel and Weibel 1988; McMaster and Shea 1988; Ruas and Plazanet 1996; Ruas 1999] : plusieurs algorithmes locaux de généralisation sont appliqués successivement sur les objets géographiques pour résoudre progressivement leurs conflits cartographiques. L'un des algorithmes appliqués aux routes consiste à déplacer ou à déformer un segment de route pour résoudre les conflits d'empâtement de virages ou les conflits de superposition avec les autres routes. Cela peut conduire à des déconnexions topologiques : le segment de route peut être déconnecté du reste du réseau routier ou d'un objet qui partage sa géométrie (par exemple une parcelle d'occupation du sol). Dans les deux cas, il est nécessaire de propager le déplacement à ces objets connectés pour garantir une reconnexion. La propagation doit être amortie afin de limiter la quantité d'objets affectés.

Il existe des algorithmes de propagation amortie qui agissent à travers le réseau [Lecordix et al. 1997; Bader and Barrault 2000] : le déplacement de chaque point dépend alors de son abscisse curviligne par rapport au point qui a initié la propagation. Ces algorithmes fournissent des résultats satisfaisants mais le fait qu'ils agissent à travers le réseau pré-

sente deux inconvénients : (1) si deux objets sont proches l'un de l'autre à vol d'oiseau, mais éloignés via le réseau, et que l'un d'entre eux est déplacé au-delà de l'autre, cela peut conduire à une erreur topologique ; (2) la propagation ne touche pas les objets qui sont déconnectés du graphe topologique (par exemple un trou dans une parcelle d'occupation du sol).

Dans ce papier, nous allons étudier une autre approche pour la propagation amortie des déplacements afin de pallier ces deux inconvénients. L'approche proposée agit à vol d'oiseau et non plus à travers le réseau. Ce papier est structuré de la manière suivante : la partie 2 présente une vue générale d'un algorithme existant qui agit à travers le réseau ; la partie 3 détaille l'algorithme proposé agissant à vol d'oiseau ; la partie 4 montre et analyse les résultats obtenus avec cette nouvelle approche ; pour finir, la partie 5 évoque les avantages de la combinaison des deux approches.

2 Algorithme existant

L'algorithme existant qui est le point de départ de l'étude présentée dans ce papier a été implémenté à l'Université de Zurich durant le projet européen AGENT (ESPRIT/LTS/24939). Il est décrit dans [Bader and Barrault 2000]. Cet algorithme agit sur le graphe topologique sous-jacent à la base de données géographiques. Les déplacements sont calculés et effectués sur les nœuds et les arcs de ce graphe, ce qui conduit à modifier la géométrie des objets géo-

graphiques liés à ces nœuds et ces arcs. L'algorithme exploite et améliore les principes d'une propagation itérative introduite dans [Lecordix et al. 1997], et les combine avec l'utilisation des *snakes* pour minimiser les distorsions de forme des objets – les *snakes*, ou *contours actifs*, sont une méthode de minimisation introduite par [Kass et al. 1987] pour le traitement d'image et adaptée pour la généralisation par [Burghardt 1997].

Le fonctionnement général de l'algorithme de propagation existant est le suivant :

1. A partir des objets géographiques qui sont initialement déplacés ou déformés, sont déduits les arcs et nœuds du graphe topologique sous-jacent associés.

2. A partir de chaque nœud déplacé, un déplacement amorti est calculé pour les nœuds voisins, c'est-à-dire les nœuds qui sont à l'autre extrémité d'un arc sortant. Le déplacement d'un nœud voisin est calculé à travers le réseau en calculant successivement un déplacement amorti pour tous les points intermédiaires de l'arc liant le nœud initial et son voisin. Le déplacement amorti d_j d'un point dépend du déplacement du point précédent (d_{j-1}), de la longueur du segment joignant les deux points [P_{j-1} P_j], et de l'angle entre [P_{j-1} P_j] et d_{j-1} . Cela permet d'amortir davantage dans la direction du déplacement initial que dans la direction perpendiculaire. Cependant, seule la position finale du nœud

voisin est conservée et non les positions finales des points intermédiaires.

3. Récursivement, une nouvelle position est calculée pour les nœuds voisins des nœuds voisins et ainsi de suite jusqu'à ce que le déplacement soit totalement amorti avec les conditions suivantes :

- si un nœud peut être atteint lors de la propagation par deux ou plus chemins différents de ce graphe, deux ou plus positions sont calculées pour ce nœud : dans ce cas c'est la position finale moyenne qui est conservée ;
- il est possible de geler certains objets géographiques de telle manière qu'ils ne soient pas déplacés du tout : quand la propagation atteint un nœud appartenant au moins à un objet gelé, le nœud correspondant n'est pas déplacé et la propagation est arrêtée de telle sorte que l'arc juste précédent amortit tout le déplacement restant.

4. A partir des nouvelles positions calculées pour les nœuds est calculée une nouvelle géométrie pour les arcs liés aux nœuds déplacés. Ceci utilise les *snakes* dans le but de conserver au mieux la forme des arcs.

La figure 1 présente le résultat obtenu avec cet algorithme. Le déplacement initié par la généralisation interne de la route (écartement de virages [Plazanet 1996]) est propagé aux routes voisines et aux parcelles d'occupation du sol. L'algorithme garantit le maintien des relations de connectivité existantes entre les objets géographiques.

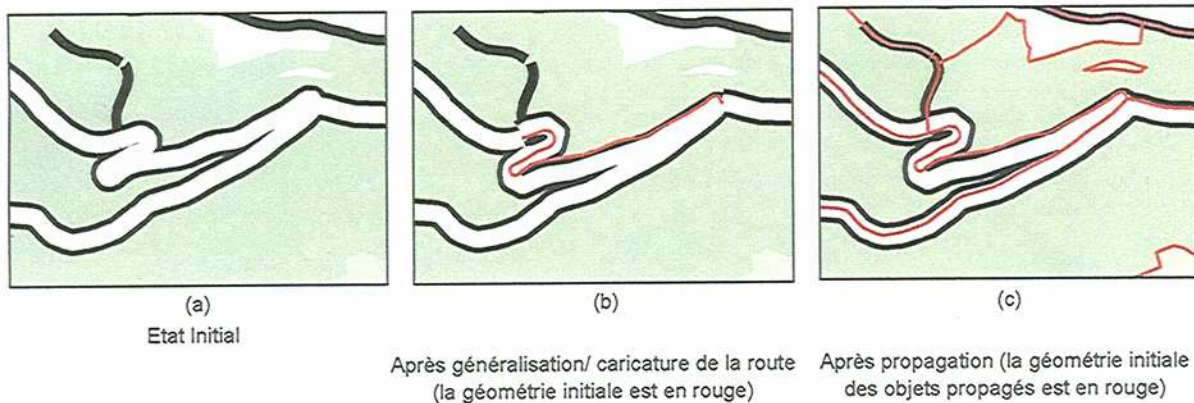
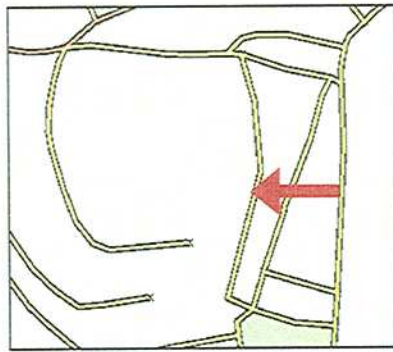


Figure 1 : Résultat obtenu avec l'algorithme de propagation existant.

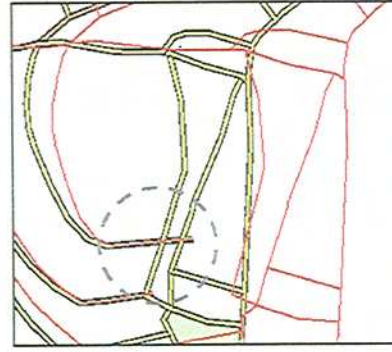
Mais, comme cette solution agit via le réseau, les objets qui ne sont pas connectés topologiquement aux objets initialement déplacés ne sont pas touchés par la propagation, même s'ils sont proches des objets déplacés. Ici, c'est le cas du trou dans la parcelle d'occupation du sol de la figure 1c, en haut à droite. Même si le trou était très proche de la route déplacée, il ne serait pas bougé. Dans les cas extrêmes, cela pourrait conduire à ce que le trou soit croisé par le bord de la parcelle qui l'englobe ou par une route déplacée, conduisant à une erreur topologique.

Un autre cas où des erreurs topologiques peuvent se produire est quand deux objets connectés par le réseau sont proches à vol d'oiseau, mais éloignés en distance curviligne à travers le réseau. Si l'un des objets est déplacé en direction de l'autre (par le déplacement initial ou par un déplacement induit durant la propagation), et si la distance curviligne entre eux est trop importante, la propagation sera trop amortie avant d'atteindre le second objet, créant ainsi une erreur topologique. Ceci est illustré par la figure 2.



(a)

Etat initial. L'arc de la route sur la droite sera déplacé vers la gauche comme indiqué par la flèche rouge



(b)

Après le déplacement et la propagation. La géométrie initiale des objets est indiquée par la ligne rouge. Une erreur topologique a été créée (mise en valeur par le cercle tireté)

Figure 2 : Cas d'une erreur topologique générée par la propagation réalisée par l'algorithme existant

La partie suivante présente un autre algorithme de propagation que nous avons mis en œuvre pour essayer de pallier les défauts de l'algorithme existant.

3 Algorithme proposé

3.1. Principes

Comme les défauts de l'algorithme existant sont liés au fait que celui-ci fonctionne à travers le réseau, nous essayons une autre approche où la propagation agit d'une manière isotrope autour des objets initiant le déplacement : plus le point est proche (à vol d'oiseau) de l'objet initiant le déplacement, plus il est déplacé par la propagation. Voici les principes majeurs de cet algorithme :

1. Les objets qui sont initialement déplacés ou déformés et qui sont à l'origine du besoin de propagation sont appelés les *initiateurs* du déplacement. Entre la géométrie initiale et finale de chaque initiateur, un ensemble de vecteurs de déplacement est calculé. La propagation sera ensuite calculée autour de chacun de ces vecteurs de déplacement initiaux.

2. Une *zone de propagation* est calculée autour de chaque objet initiateur. Pendant la propagation, seule la partie d'espace incluse dans les zones de propagation sera affectée par la propagation. La propagation sera totalement amortie au bord des zones de propagation.

3. L'algorithme agit sur les primitives (arcs et nœuds) du graphe topologique associé aux objets géographiques.

Une nouvelle position est calculée indépendamment pour chaque point de chaque arc (nœuds inclus) qui est compris dans la zone de propagation.

4. Des objets gelés peuvent être pris en compte, c'est-à-dire des objets qui doivent rester à leur position initiale même s'ils appartiennent à la zone de propagation. Ceci est utilisé par exemple quand le déplacement initial est pour éloigner une route d'une autre afin de résoudre un conflit de superposition. Dans ce cas, l'une des deux routes est l'objet initiateur et l'autre route est gelée.

La partie suivante détaille les quatre principes précédents.

3.2. Calcul des vecteurs de déplacement initiaux

Les vecteurs de déplacement initiaux sont utilisés pour modéliser le déplacement ou la distorsion des objets initiateurs. Cela est basé sur la notion de points homologues entre la géométrie initiale d'un initiateur et sa géométrie après son déplacement ou sa distorsion : l'origine de chaque vecteur est un point sur la géométrie initiale de l'objet et son extrémité est son homologue sur la géométrie finale. Les vecteurs de déplacement initiaux sont calculés avec une méthode simple utilisant une interpolation à intervalles réguliers le long de la géométrie initiale de l'initiateur. La distance d'intervalle est un paramètre de l'algorithme. Les points homologues sur la géométrie finale de l'initiateur sont calculés en utilisant le même ratio de l'abscisse curviligne. Ceci est illustré par la figure 3.

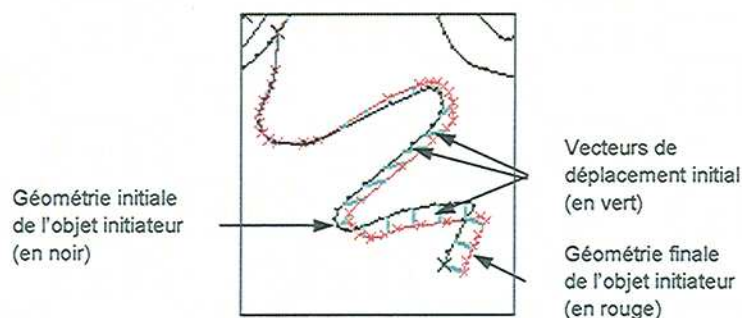


Figure 3. Vecteurs de déplacement initiaux

Une autre méthode pour créer les vecteurs de déplacement initiaux a d'abord été testée. Seuls les points de la géométrie initiale étaient les origines des vecteurs de déplacement ; aucun point interpolé n'était ajouté. Mais les résultats de la propagation étaient trop sensibles à la densité de points des initiateurs. Des incohérences étaient observées dans le cas d'initiateurs avec très peu de points comme les lignes droites.

Le principal défaut de la méthode retenue pour créer le vecteur de déplacement initial est que cela suppose que la notion de points homologues a un sens pour les objets initiateurs, ce qui ne serait pas le cas si par exemple un virage était supprimé dans une série de virages. Des alternatives pour ces cas sont examinées dans la partie 5.

3.3. Zone de propagation autour des objets initiateurs

Comme indiqué en 3.1, une zone de propagation est calculée pour tous les objets initiateurs. Cette zone doit englo-



ber la portion d'espace qui sera affectée par la propagation due à l'initiateur. En d'autres termes, aucun point d'un objet en dehors de cette zone ne sera affecté par la propagation due à cet initiateur. La zone de propagation est calculée comme un buffer autour de la géométrie initiale de l'initiateur. La taille *TaillePZ* de la zone (taille du buffer) est calculée en fonction de :

- la longueur maximale des vecteurs de déplacement initiaux pour cet initiateur, *max_dep*,
 - un paramètre d'amortissement $b \in [0; 1]$
- et suivant la formule suivante : $TaillePZ = max_dep/b + max_dep$

Quand $b = 1$ la zone de propagation est minimum, c'est-à-dire que la propagation est presque inexistante et le déplacement ou la distorsion est immédiatement amorti. Si $b = 0$ la zone de propagation est infinie, c'est-à-dire que la propagation est illimitée. La Figure 4 montre un exemple de zone de propagation sur le même objet initiateur qu'en Figure 3, avec le paramètre $b = 0.15$

Zone de propagation : seule la partie des objets inclus dans cette zone seront affectés par la propagation

Objet initiateur qui a été déformé (caricature d'une série de virages).

Figure 4 : Exemple de zone de propagation calculée avec le paramètre $b = 0.15$

3.4. Calcul de la propagation

Une fois les vecteurs de déplacement initiaux et les zones de propagation calculés pour chaque objet initiateur, l'algorithme détermine une nouvelle position due à la propagation pour tous les points des arcs topologiques qui sont inclus dans la zone de propagation (à l'exception des points des objets initiateurs pour lesquels la position finale est déjà connue). Ceci est fait en 3 étapes :

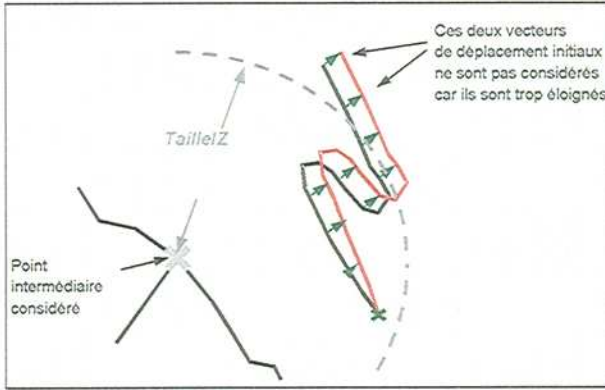
- pour chaque point inclus dans la zone de propagation, sélection des vecteurs de déplacement initiaux qui vont agir sur lui : seuls les vecteurs les plus proches sont conservés et uniquement ceux qui ne sont pas cachés par un autre objet ;
- pour chaque point inclus dans la zone de propagation et pour tout vecteur de déplacement initial qui agit sur lui, calcul du déplacement dû à la propagation induit par le vecteur de déplacement initial sur ce point ;
- pour chaque point inclus dans la zone de propagation, agrégation des déplacements dus aux différents vecteurs de déplacement qui agissent sur lui, pour calculer le déplacement résultant à appliquer sur ce point.

Une fois les déplacements calculés pour tous les points, ceux-ci sont déplacés en conséquence. Les trois étapes présentées ci-dessus sont détaillées par la suite.

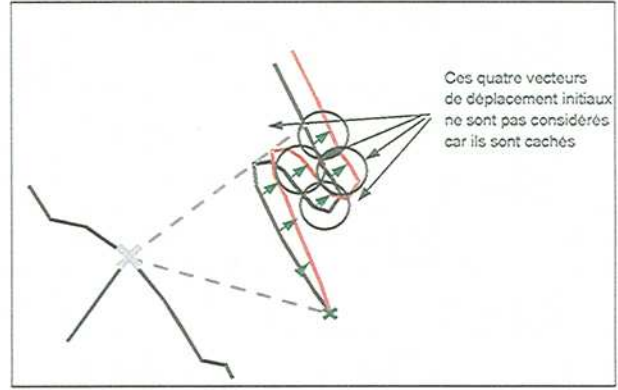
Sélection des vecteurs de déplacement initiaux qui agissent sur un point donné

La première condition prise en compte pour décider qu'un vecteur de déplacement initial introduira une propagation sur un point donné est la distance entre les deux. Chaque vecteur de déplacement initial a une zone d'influence qui dépend de la taille de la zone de propagation à laquelle l'initiateur appartient. Cette zone d'influence est un cercle centré sur son origine et dont le rayon est $TailleIZ = max_dep/b$ (voir 3.3 pour les définitions de *max_dep* et *b*). Tous les vecteurs de déplacement initiaux d'un objet initiateur ont le même rayon d'influence. Quand on calcule la propagation sur un point donné, seuls les vecteurs de déplacement initiaux dont la zone d'influence inclue ce point seront considérés. Cela est équivalent à dire que, pour un point donné, seuls les vecteurs de déplacement initiaux qui ont leur origine à l'intérieur d'un cercle de rayon *TailleIZ* autour du point influencent ce point (Figure 5a).

En plus de cette condition de distance, une autre condition est prise en compte pour décider si un point donné sera influencé par un vecteur de déplacement initial : l'origine de ce vecteur de déplacement initial doit être visible depuis le point, c'est-à-dire ne pas être caché par un objet initiateur (Figure 5b).



(a) Condition de distance



(b) Condition de visibilité

Figure 5 : Conditions pour la sélection des vecteurs de déplacement initiaux influençant un point donné

Au sujet de la condition de distance, il est à noter que nous avons essayé initialement de rendre la taille de la zone d'influence d'un vecteur proportionnel à sa longueur (plus le vecteur est petit, moins son influence est éloignée). Mais cela a échoué car les petits vecteurs de déplacement n'étaient pas assez pris en compte : un point, situé très près d'un déplacement presque nul et en même temps dans la zone d'influence d'un déplacement plus important, était beaucoup trop déplacé.

Déplacement d'un point dû au vecteur de déplacement initial

Une fois que nous connaissons, pour un point donné qui doit se déplacer par propagation, les vecteurs de déplacement initiaux qui sont à considérer, nous calculons séparément la propagation induite sur le point par chaque vecteur de déplacement initial concerné.

Le vecteur de propagation induit par un vecteur de déplacement initial i sur un point donné est calculé ainsi :

- la direction de ce vecteur est la même que la direction de ce vecteur de déplacement initial ;
- la longueur de ce vecteur est $dep_j(\text{point}) = dep_ini_j * (1 - amortissement(i, \text{point}))$, où

dep_ini_j est la longueur du vecteur de déplacement initial i , $amortissement(i, \text{point})$ est le coefficient d'amortissement compris entre [0,1]. Ce coefficient dépend de la distance $dist(i, \text{point})$ entre l'origine du vecteur de déplacement initial et le point. Il était initialement calculé par :

$$amortissement(i, \text{point}) = dist(i, \text{point}) / TailleIz = dist(i, \text{point}) * b / max_dep$$

Cela signifie que l'amortissement est total (égal à dep_ini_j) à la fin de la zone d'influence du vecteur i de déplacement initial, et est linéaire entre l'origine du vecteur i de déplacement initial et la fin de sa zone d'influence.

Comme cette solution conduisait les points proches de l'origine du vecteur de déplacement initial à être trop déplacés, nous avons finalement adopté un amortissement quadratique :

$$amortissement(i, \text{point}) = dist2(i, \text{point}) / TailleIz2 = dist2(i, \text{point}) * b^2 / max_dep2$$

Ainsi, la formule finale pour obtenir le vecteur de propagation induit par un vecteur de déplacement initial i donné sur un point donné est la suivante :

$$dep_j(\text{point}) = dep_ini_j * (1 - dist2(i, \text{point}) * b^2 / max_dep2)$$

Agrégation des déplacements dus à plusieurs vecteurs de déplacement initiaux

Une fois que nous avons calculé indépendamment tous les vecteurs de propagation induits sur un point par tous les vecteurs de déplacement initiaux influençant ce point, la dernière étape consiste à agréger ces vecteurs de propagation. Cela est réalisé grâce à une moyenne pondérée. Le poids associé à un vecteur de propagation $dep_j(\text{point})$ est :

$$poids(i, \text{point}) = 1 / dist2(i, \text{point}).$$

En considérant n vecteurs de propagation ($x_dep_j(\text{point})$, $y_dep_j(\text{point})$) calculés sur un point, les coordonnées résultantes du vecteur de propagation agrégé sont :

Nous avons initialement essayé une moyenne simple, mais les objets qui étaient très proches de l'objet initiateur étaient trop déformés. Avec la pondération proposée, l'amortissement est plus progressif près des initiateurs.

3.5. Objets gelés

Les objets gelés ont été ajoutés comme des objets initiateurs avec un déplacement nul.

4. Résultats

L'algorithme proposé a été implémenté dans le SIG LAMPS2. Cette partie présente quelques résultats obtenus avec celui-ci. La Figure 6 présente un exemple d'un résultat satisfaisant obtenu avec cet algorithme, dans un cas où deux initiateurs sont pris en compte. On peut noter en particulier que la grande parcelle d'occupation du sol dans le centre de la zone, qui forme un trou dans une autre parcelle et qui n'est pas connectée au réseau routier, a subi une propagation adaptée.

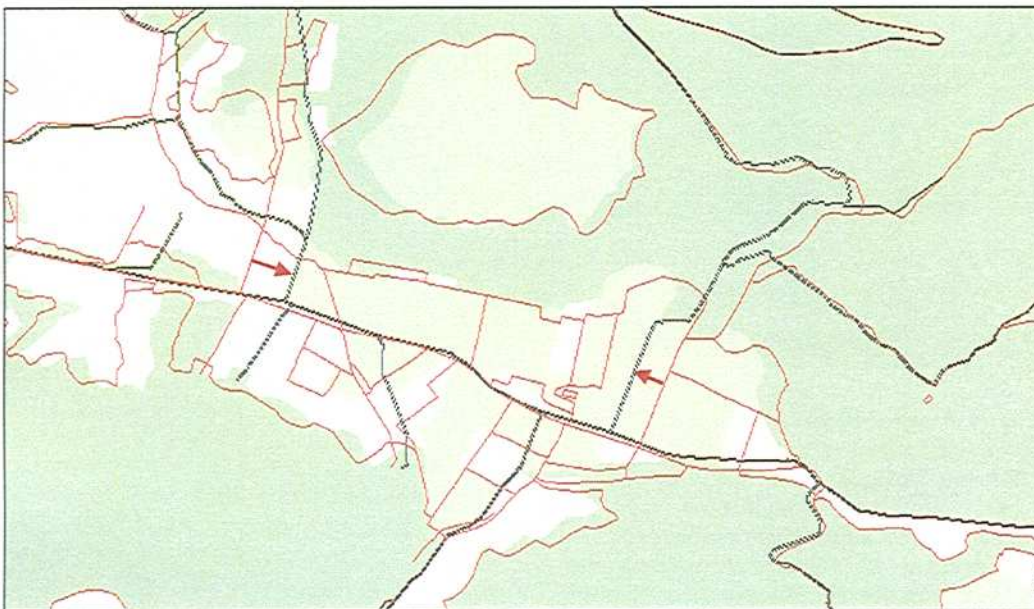


Figure 6 : Exemple de résultat satisfaisant obtenu avec l'algorithme proposé. Deux objets initiateurs sont pris en compte, leur déplacement est présenté par des flèches rouges. La géométrie initiale des objets est représentée par une ligne rouge fine

De plus, le nouvel algorithme fournit une solution pour les problèmes de superposition d'intersections topologiques rencontrés avec l'algorithme initial (Figure 7). Ceci était attendu et c'est le principal avantage. Néanmoins, le nouvel algorithme peut provoquer des erreurs topologiques dans le cas

où un objet avec une très faible densité de points est très proche d'un objet initiateur qui est déplacé vers lui. Mais les tests que nous avons effectués montrent que ce cas est assez rarement rencontré.



Etat initial. L'arc de la route sur la droite sera déplacé vers la gauche comme indiqué par la flèche rouge.

Après déplacement et propagation avec l'algorithme initial (géométries initiales en rouge fin). Une erreur topologique a été créée (cercle tireté).

Après déplacement et propagation avec le nouvel algorithme

Figure 7 : Le nouvel algorithme résout les problèmes d'intersections topologiques rencontrés avec l'algorithme initial

Le principal inconvénient de l'algorithme proposé est la gestion des objets gelés, dont il est certain qu'elle devrait être améliorée. L'algorithme est très sensible au choix des objets gelés et provoque trop de distorsions sur les objets qui sont dans le proche voisinage simultanément d'un objet initiateur et d'un objet gelé. Ceci est montré en figure 8. Sur les deux images, la même portion de route est déplacée de

la même façon pour résoudre un conflit de superposition avec la route en dessous. Sur l'image de gauche, la portion de la route en dessous qui, considérée comme gelée, est plus courte que sur l'image de droite. Dans les deux cas, quelques distorsions non satisfaisantes se produisent sur les objets.

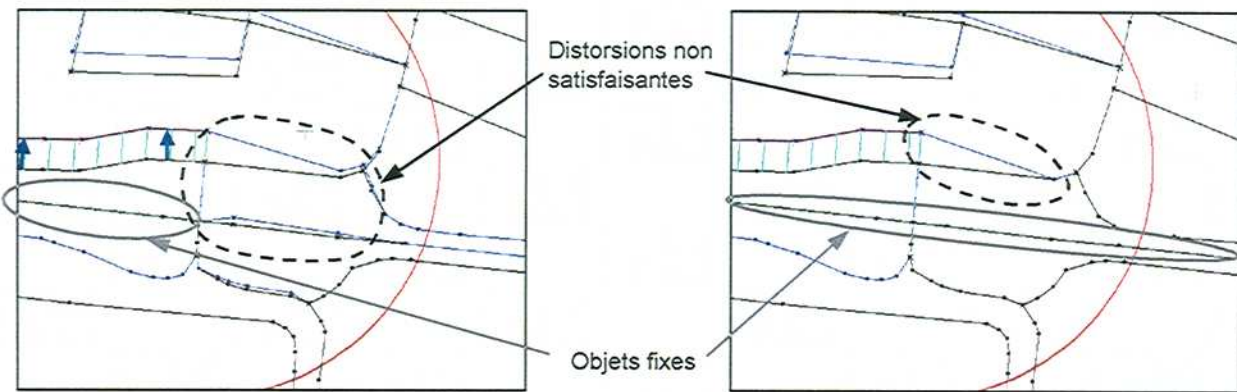


Figure 8 : Le nouvel algorithme est sensible au choix des objets gelés et provoque trop de distorsions aux objets (géométrie initiale des objets en noir, géométrie finale en bleu)

5. Conclusion et perspectives

Dans ce papier, nous avons proposé une nouvelle approche pour propager un déplacement ou une distorsion, appliqué à un objet durant un processus de généralisation, et aux voisins de cet objet. L'algorithme proposé agit à vol d'oiseau contrairement aux algorithmes précédents qui opèrent à travers le réseau. L'algorithme proposé apporte des solutions pour résoudre les deux principaux défauts de l'algorithme qui agit à travers le réseau : il résout les problèmes d'intersections topologiques et il calcule une propagation même pour les objets qui ne sont pas connectés topologiquement aux objets initiateurs.

Une hypothèse limitante de l'algorithme proposé est due au calcul des vecteurs de déplacement initiaux qui suppose que chaque point (point intermédiaire ou point interpolé) de la géométrie d'un objet initiateur dispose d'un homologue dans sa géométrie finale (cf. section 3.2). Ceci empêche de propager une distorsion due à des opérations discontinues

comme la suppression de virages dans une série de virages, car alors la notion de points homologues n'a plus de sens. Une stratégie possible pour gérer de tels cas serait de considérer l'enveloppe convexe de l'initiateur : la notion de points homologues aurait encore un sens sur les enveloppes convexes, de telle sorte que l'algorithme proposé pourrait être appliqué en dehors de l'enveloppe convexe. Si d'autres objets étaient partiellement inclus dans l'enveloppe convexe, une propagation spécifique devrait leur être appliquée préalablement.

Le principal inconvénient de l'algorithme proposé est qu'il provoque trop de distorsions sur les objets quand des objets gelés sont considérés, ce qui est souvent le cas dans un processus de généralisation (dès que l'objectif du déplacement initial est de résoudre un conflit de superposition). Des essais ont été effectués durant l'étude pour calculer l'amortissement, non seulement en fonction de la distance à vol d'oiseau entre un vecteur de déplacement initial et le point considéré, mais aussi en fonction de l'angle entre le

vecteur de déplacement initial et le vecteur joignant son origine au point considéré. Avec cette solution, nous espérons amortir davantage la propagation dans la direction parallèle au vecteur de déplacement initial que dans la direction perpendiculaire au vecteur de déplacement initial. Nous espérons ainsi préserver mieux les formes des objets. Cependant les résultats n'étaient pas satisfaisants et cette solution a été abandonnée car l'angle considéré n'était pas le bon. Les algorithmes qui agissent à travers le réseau gèrent mieux la préservation des formes caractéristiques (lignes

droites, etc.) car ils peuvent prendre en compte l'angle entre le segment considéré du réseau et le déplacement initial. Ils permettent à un segment parallèle au déplacement initial d'amortir plus le déplacement qu'un segment perpendiculaire à lui (cf. section 2).

Une solution possible serait donc de combiner les deux approches (à travers le réseau et à vol d'oiseau) pour bénéficier des avantages des deux. Ceci n'a pas encore été essayé mais semble être un sujet intéressant pour un travail futur .

6 Références

Bader M. & Barrault M. 2000. Improving Snakes for Linear Feature Displacement in Cartographic Generalization. *Proc. of the 5th International Conference on GeoComputation*, Greenwich, Royaume-Uni, 2000, disponible sur <http://www.geocomputation.org/2000/GC034/Gc034.htm>.

Brassel K. & Weibel R. 1988. A review and conceptual framework of automated map generalization. *International Journal of Geographic Information Systems*, 1988, vol.2, n°3, pp.229-244.

Lecordix F., Plazanet C., Lagrange J.P. 1997. A Platform for Research in Generalization: Application to Caricature. *Geoinformatica International Journal*, vol.1, n°2, 1997, pp.161-182.

McMaster R. & Shea K. 1988. Cartographic Generalization in a Digital Environment: a Framework for implementation in a GIS. *Proceedings of GIS/LIS'88*, San Antonio, Texas, États-Unis, 1988, pp.240-249.

Plazanet C. 1996. *Enrichissement des bases de données géographiques : Analyse de la Géométrie des objets linéaires pour la généralisation cartographique. Application aux routes*. Thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, France, 1996.

Ruas A. 1999. *Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie*. Thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, France, 1999.

Ruas A. & Plazanet C. 1996. Strategies for Automated Generalization. *Proc. of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling*, Delft, Pays-Bas, pp.6.1-6.17.