

Mise en œuvre d'un processus de généralisation automatique du linéaire routier

(*)Khalissa Derbal Amieur & (*) Nadia ABDAT

(**) R.Guemdani, (**)A.Koucha, (**)A.Kaddour Djebbar & (**) Mr K.Boukhachba,

(*) Laboratoire des systèmes informatiques (LSI), Faculté d'Electronique et d'Informatique (USTHB)

(**) Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT)

(*) khalissa@yahoo.fr, (*) N_abd_gh@yahoo.fr

ملخص : يعد التعميم الآلي محور بحث نشيط منذ سنوات عديدة، إنها التقنية البديلة لإنتاج خرائط متمر، ومع ذلك واجهت عدة أبحاث صعوبات بما في ذلك التعقيدات و تكاليف المعالجة. العمل موضوع هذا المقال تم تحقيقه بالتعاون مع المعهد الوطني للخرائط والكشف عن بعد (م و خ ك ب)، هدفنا هو الشروع في دمج عملية التعميم في سلسلة إنتاج الخرائط على مستوى هذه المؤسسة التي تعتبر المنتج الرئيسي للمعلومات الجغرافية في الجزائر.

في البداية ركزنا على معالجة التداخل-الذاتي المعروف بظاهرة السماكة (التضخيم) وتستند العملية المقترحة على ثلاثة معالجات متتالية بإشراك فئات مختلفة من العمليات (الخوارزميات) في ظاهرة التعميم المثبت (التبسيط، الكاريكاتور، الإنسجام) وأيضاً عن طريق إستغلال معارف خبير في ميدان الخرائط، (السيد كوشة) الذي مارس التعميم اليدوي الخرائطي لمدة طويلة، وتم تحديد مجموعة من الشروط الخرائطية من أجل تحقيق العملية بشكل جيد.

و قد تم إجراء التجارب في مجال نظم المعلومات الجغرافية (ArcGis9.2) ونقوم بوصف النموذج المحقق من خلال مختلف واجهاته و تتم دراسة النتائج من أجل تقييم مدى فعالية العملية المقترحة.

الكلمات الأساسية : عملية التعميم الآلي، خوارزميات التعميم، تخطيط الطرقات، المعطيات الخرائطية الأولية، التداخل-الذاتي.

Résumé : La généralisation automatique constitue depuis plusieurs années un axe de recherche actif. C'est la technique alternative pour une production cartographique rentable. Cependant, de nombreux travaux de recherche, sont confrontés à des difficultés, notamment la complexité et le coût des traitements. Le travail présenté dans cet article a été réalisé en collaboration avec l'Institut National de Cartographie et Télédétection (INCT). Notre objectif est d'initier l'intégration du processus de généralisation dans la chaîne de production cartographique au niveau de cette institution qui représente le principal producteur de l'Information géographique en Algérie. Dans un premier temps, nous nous sommes focalisés sur le traitement de l'auto-conflit dit phénomène d'empatement. Le processus proposé s'articule autour de trois traitements successifs faisant appel à différentes classes d'opérateurs de généralisation paramétrés (simplification, caricature, harmonisation) et en exploitant potentiellement les connaissances d'un expert cartographe [A.koucha] ayant pratiqué la généralisation manuelle

pendant longtemps. Un ensemble de contraintes cartographiques est alors défini afin de mener à bien le processus. Nos expérimentations ont été effectuées dans l'environnement SIG « ArcGis 9.2 ». Nous décrivons le prototype mis en oeuvre via ses différentes interfaces. Les résultats sont étudiés afin d'évaluer l'efficacité du processus proposé.

Mots-clés : Processus de généralisation automatique, opérateurs de généralisation, linéaire routier, Base de Données Cartographique, auto-conflit.

Abstract : The automation of generalization process has been for several years an active area of research. It constitutes an alternative technique for mapping production efficiently. However, research works, are facing difficulties, including the complexity and cost of treatment. In this paper we propose a approach for line generalization (road network), we focused on process of self-conflict when moving from a level of detail to a smaller one. The method we proposed, comes from advancement level of researches in this field and from human expert knowledge. It has been implemented under ArcGis 9.2 GIS software environment, we presented the prototype via some interfaces. We also comment the results in order to evaluate our approach.

Keywords : Automatic generalization process, generalization algorithms, line generalization, cartographic database, self-conflict

1. Introduction

La cartographie numérique a révolutionné certains processus et techniques traditionnellement utilisés dans la production de données géographiques ou plus généralement dans la production cartographique ; la généralisation en fait partie. Pratiquée depuis longtemps par les cartographes, elle a connu une évolution progressive ; de la généralisation manuelle, qui utilise des outils de dessins traditionnels avec un temps de traitement et coût élevé (pouvant exiger jusqu'à plusieurs mois de travail

pour une seule carte), à la généralisation interactive en mode assisté qui a relativement réduit le coût et le temps de la réalisation d'une carte, jusqu'à la généralisation automatique qui a ouvert une nouvelle ère dans le domaine de la production cartographique. En effet, la généralisation automatique vise l'activation de la production cartographique qui jusqu'à un temps récent s'est restreinte à des échelles dites de base et rarement à celles intermédiaires. Elle consiste à dériver, à partir d'un jeu de données très détaillé (niveau de détail élevé), une panoplie de cartes (papier, images écran) à différents usages et à différentes échelles. La démocratisation de l'utilisation de l'information cartographique (géographique) passe essentiellement par la satisfaction des différents groupes d'utilisateurs. La généralisation dans ce cas, est incontournable sauf qu'il faut la guider et l'optimiser afin de répondre efficacement aux divers besoins exprimés [12].

Les cartes dérivées doivent respecter un ensemble de contraintes définies et hiérarchisées en quatre groupes : contraintes de lisibilité, contraintes de respect de forme, contraintes d'organisation spatiale et contraintes d'harmonie globale[8].

Compte tenu de cette orientation ambitieuse, des chercheurs pluridisciplinaires se sont penchés sur le développement et la mise en oeuvre de différents opérateurs (algorithmes) de généralisation classés en différentes catégories [7]. La complexité et le coût du processus, ont fait que de nombreux travaux se sont intéressés aux thèmes dominants en cartographie tels que le linéaire (routier, hydrographie, orographie, réseaux de communication, etc) et le bâti.

Les objets linéaires sont les objets qui posent le plus de problèmes lors de la réduction d'échelle car ils regroupent un bon nombre de thèmes et occupent jusqu'à 90% du contenu informationnel d'une carte, mais nous avons constaté dans la littérature, un grand effort pour améliorer le traitement des conflits du linéaire routier du fait qu'il prime sur tous les thèmes à cause des liens forts qu'il tisse avec ces derniers. De plus, les algorithmes qui traitent le routier peuvent facilement être adaptés aux autres objets linéaires. C'est dans cette optique que s'intègre le travail de recherche que nous présentons dans cet article et qui traite l'auto-conflit provoqué par le linéaire routier lors d'un processus de généralisation automatique. Cet article est organisé comme suit :

Dans la section 2, nous présentons un état de l'art à l'issue duquel nous avons développé notre réflexion. Dans la section 3, nous rappelons quelques concepts liés à la généralisation. La section 4 sera consacrée à la description du phénomène de l'auto-conflit. La section 5 présente notre contribution via l'approche proposée. Dans la section 6, nous décrivons la phase

d'implémentation, et enfin, nous terminons par une conclusion et quelques perspectives.

2. Travaux référencés

Comme nous l'avons déjà évoqué dans la section 1, de nombreux travaux de recherche se sont intéressés au linéaire routier, différentes classes d'opérateurs (algorithmes) de généralisation ont été mis en oeuvre tels que, la simplification, la caricature, l'harmonisation..., chaque catégorie regroupe des sous classes comme sélection/élimination et lissage/filtrage qui font partie de la classe des algorithmes de simplification [7]. L'application des différents opérateurs est soumise à un ensemble de contraintes explicitement définies[8][9]. Les contraintes de lisibilité sont celles qui sont à l'origine de la nécessité de généraliser, elles expriment les contraintes que doivent satisfaire les objets individuellement ou en groupe pour qu'ils puissent être distingués les uns des autres [1]. En effet, lors de la réduction de l'échelle (passage d'une échelle à une échelle plus petite), les objets se chevauchent et deviennent non perceptibles. La généralisation cartographique a donc, pour objectif de rendre ce contenu lisible pouvant satisfaire l'utilisateur. Une généralisation de qualité est celle qui permet une représentation adaptée au mieux aux besoins de l'utilisateur [10].

Par ailleurs, l'aspect pratique du processus de généralisation nous a orienté vers l'exploitation des connaissances d'un expert cartographe qui a, pendant longtemps pratiqué la généralisation (de la manuelle à l'interactive), nous présentons dans cette approche, une formalisation de ces connaissances afin de les rendre exploitables.

3. Quelques concepts

a. Définition de la généralisation : [03]

Parmi de nombreuses définitions de la généralisation, nous avons retenu la suivante, qui est basée sur deux aspects : Le changement d'échelle et l'élargissement des symboles.

On appelle traditionnellement généralisation le passage d'une carte à une autre carte d'échelle plus petite. Le changement d'échelle s'accompagne donc d'une diminution de la place disponible. Cette réduction oblige, pour préserver la lisibilité, à supprimer une partie de l'information et à simplifier celle que l'on veut garder.

Si l'on considère une gamme de produits de même support (les cartes de 1:25 000 aux cartes de 1:1000000), les symboles représentés sur le papier sont à peu près de même taille. En effet, la dimension des symboles sur le papier est fixée en fonction des

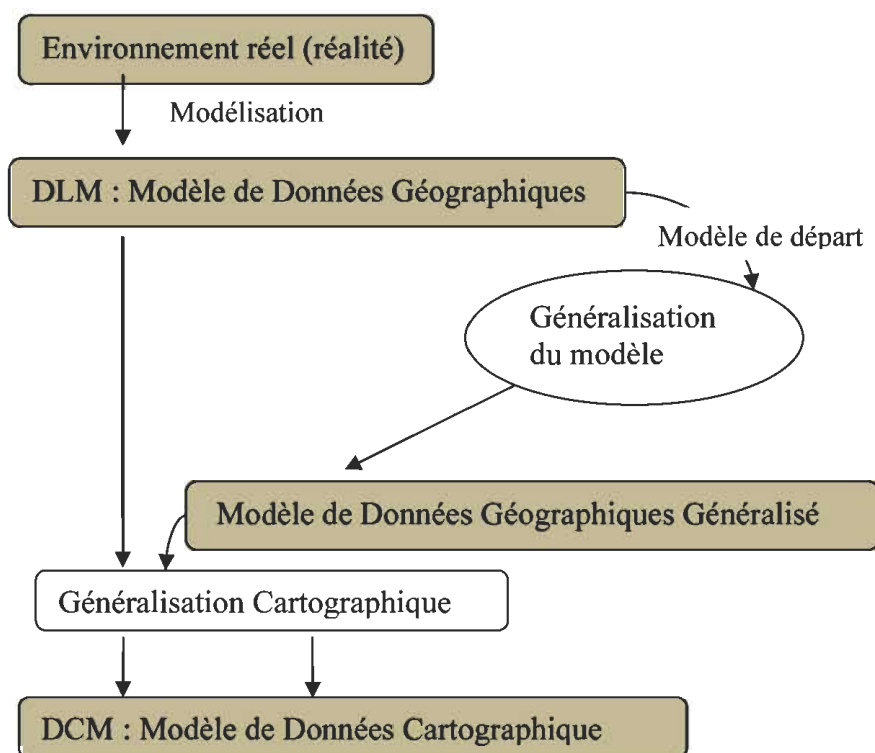
dimensions de perception de l'œil, et des contraintes des techniques d'impression. Les routes sont habillées typiquement d'un symbole de 1mm. Ainsi, le tracé d'une route de la carte projetée sur terrain aurait une largeur de 25m pour une carte au 1/25.000ème, de 100m pour la carte au 1/100.000ème et de 1km pour la carte au millionième. Dès le 1/25.000ème, la taille des symboles mesurée sur le terrain a tendance à être supérieure à celle des objets eux-mêmes, et cet effet s'accroît à chaque changement de symbolisation. À ces critères techniques et physiologiques, s'ajoutent des critères culturels : habitué à utiliser un symbole à une échelle, le cartographe aura tendance à conserver ce symbole aux échelles dérivées. De même, un symbole sera de lecture plus aisée si le lecteur y est habitué et le retrouve à toutes les échelles. L'augmentation de la taille occupée par chaque objet sature l'espace cartographique.

Pour préserver la lisibilité, le cartographe est obligé de synthétiser l'information, éliminant les détails les moins significatifs, pour retenir et mettre en valeur les caractères les plus importants. C'est ce que l'on appelle la généralisation.

b. Types de généralisation : [8]

Le DLM et DCM sont l'abréviation usuelle pour "Digital Landscape Model" et "Digital Cartographic Model" (Figure 2.3). Ces généralisations sont deux types différents :

- la généralisation du modèle: elle est utilisée tout d'abord pour la modélisation de l'environnement.
- la généralisation cartographique: c'est le processus qui permet d'associer des symboles aux objets géographiques et de les stocker dans un modèle de données cartographiques sous une forme utilisable directement pour un affichage à l'écran ou sur une carte.



Types de généralisation.

C. Contraintes cartographiques

Pour être lisible par l'utilisateur, l'image graphique produite (imprimée ou sur écran en particulier), doit respecter un ensemble de contraintes basées à la fois sur des critères liés aux limites de l'acuité visuelle [1] et sur des critères esthétiques. Certains types d'objets possèdent des caractéristiques de forme qui permettent de les identifier rapidement d'un simple coup

d'œil. Ces caractéristiques devront être préservées afin de pouvoir les identifier rapidement et facilement. Les contraintes d'organisation spatiale assurent l'analogie entre l'implantation des objets cartographiques dans un petit espace de la carte et leurs dispositions réelles sur le terrain. Les contraintes d'harmonie globale ont pour objectif de relater sur une carte tout type de différence pouvant être observée sur le terrain.

A l'exception des contraintes de lisibilité qui reposent sur des phénomènes quantifiables, les autres contraintes sont purement qualitatives. L'information qu'elles sont sensées préserver n'est pas quantifiable et l'évaluation au cours d'un traitement est difficile à élaborer. Ce sont des problèmes qui existent aussi en cartographie manuelle. Les différences constatées en comparant les résultats obtenus par différents cartographes pour traiter un même cas montrent que ce problème n'est pas nouveau.

Nous tenons à préciser que dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la généralisation indépendante qui ne considère que le thème traité (réseau routier) indépendamment des thèmes à proximité en particulier le thème bâti. Parmi les approches de généralisation qui ont marqué ce domaine de recherche, nous nous sommes intéressés aux approches à base de contraintes. Dans un tel système, les contraintes permettent de prendre en compte les facteurs qui influent sur la généralisation comme l'échelle, la symbolisation, les contraintes de lisibilité (ex. les seuils minimaux de perception) et le but de la carte générée.

d. Vertex, taux de généralisation et seuil de généralisation

- Vertex : C'est un point de coordonnée (X, Y). Il représente l'élément le plus élémentaire constituant l'objet linéaire (forme géométrique en mode vecteur), il s'agit dans notre cas d'un tronçon de route.

- Taux de généralisation : c'est le seuil de tolérance acceptable pour le changement géométrique d'un objet géographique.

- Seuil de généralisation : c'est la valeur comparative qui nous permet de dire qu'un objet géographique, présente ou pas un état de conflit. La notion de seuil de généralisation est confondue avec celle du taux de généralisation, mais il est préférable de parler de taux de généralisation à la phase du paramétrage de l'algorithme, et de parler de seuil de généralisation quand il s'agit de faire des tests sur l'état d'un objet.

4. Phénomène d'auto- conflit (conflit interne)

Une carte (image affichée à l'écran) est produite à partir d'une base de données cartographiques (BDC), qui n'est autre qu'une BDG enrichie de symboles qui représentent pertinemment les objets géographiques affichés ou imprimés. La large symbolisation du réseau routier provoque de nombreux conflits classés en trois types : le conflit inter-couches qui représente l'interaction du thème

routier avec d'autres thèmes, comme le bâti ; le conflit intra-couche qui surgit entre des objets de la même couche et l'auto - conflit qui constitue l'objet de cet article.

L'auto- conflit ne peut intervenir que sur un objet complexe, en particulier s'il est habillé d'une symbolisation épaisse. Il arrive que dans ce cas, deux parties d'un même objet entrent en conflit. On parle alors de conflit interne à l'objet, en général on distingue trois cas de conflits internes [3]:

- la superposition : c'est l'exact équivalent de la jonction (la limite entre objets ne se distingue pas) et de la congestion (superposition) (Figure 1.a).
- les angles trop aigus : lorsqu'un virage est trop serré, la largeur du symbole provoque un empâtement désagréable (Figure 1.b).
- le conflit en "boudins" : c'est le conflit le plus compliqué. Il intervient sur des groupes de virages, par congestion générale des symboles. La succession de virages est alors transformée en une zone illisible (Figure 1.c).

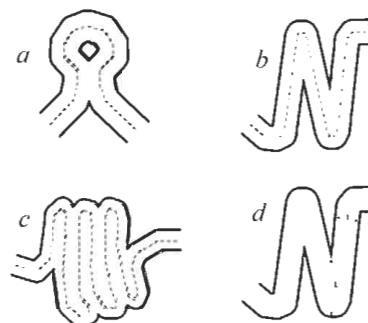


Fig. 1 Les cas d'auto-conflits sur le linéaire routier.

On présente dans l'ordre les trois cas d'autoconflits: (a)-la superposition ; (b)-les angles trop aigus ; (c)-l'effet de boudinage. Le trait discontinu représente la ligne originale avant symbolisation.

5. Processus proposé

L'approche que nous proposons adopte un processus de généralisation basé sur la définition d'un ensemble de contraintes cartographiques et fait appel à un ensemble d'opérateurs de généralisation de différentes catégories. Ceci est réalisé via une diversité d'algorithmes adaptés au cas d'auto-conflit présent sur un tronçon de route. La symbolisation et l'échelle de la carte (image sur écran) constituent des paramètres pertinents dans ce processus. Certaines contraintes sont formalisées sous forme de règles avec l'aide d'un expert cartographe, d'autres ne le sont pas. Dans la mise en oeuvre de notre approche, nous avons proposé un algorithme à trois étapes consécutives, décrites comme suit :

1. *Réduction du nombre de points (vertex) :*
 Contrainte de lisibilité et d'acuité visuelle.
 Opération : [simplification : filtrage]
 Algorithme : traitement par point aléatoire.
2. *Résolution du conflit :*
 Contrainte : liée à la symbolisation.
 Opération : [simplification : filtrage]+[caricature : déformation].
 Algorithme : traitements locaux + module de caricature.
3. *Atténuation des angularités :*
 Contrainte : respect de formes.
 Opération : [simplification : lissage]
 Algorithme : traitement à moyennes pondérées.

Etape 1 : Réduction du nombre de vertex

Une ligne est définie par l'ensemble des vertex la constituant, en moyenne la distance entre deux vertex est de 10 mètres terrain. Ainsi, la ligne est décrite avec un très grand nombre de vertex séparés par de très petites distances proportionnelles aux échelles utilisées. Nous nous retrouvons alors à représenter des vibrations qui ne sont même pas perceptibles par l'oeil et qui rendent le traitement de la ligne lourd et coûteux en temps. Pour faire face à ce problème nous avons exploité une opération de filtrage basée sur les algorithmes de traitement par point aléatoire (sélection / élimination)[5]. L'inconvénient d'un tel algorithme réside dans la difficulté de contrôler les résultats fournis par ce dernier car ce type de traitement (supprimer 1 vertex sur n, supprimer les vertex multiple de n, supprimer un vertex chaque vertex passé...) donne le même degré d'importance aux vertex constituant une ligne. Ceci, rend la probabilité d'enlever un point perceptible et un autre qui ne l'est pas, égale. Pour remédier à cet indéterminisme imposé par cette catégorie d'algorithmes de filtrage, nous nous sommes orientés vers une méthode courante dans la généralisation manuelle des cartes, qui consiste à exiger un pas minimal entre deux vertex consécutifs, pour guider le traitement par une règle déterministe et du coup avoir un résultat plus concluant.

Pour comprendre ce premier traitement, prenons l'exemple d'un réseau routier présenté à l'échelle 1 : 500 000. A cette échelle chaque 500 mètres terrain est représenté par 1 millimètre sur la carte, on aura 51 points reportés sur 1 millimètre de la carte, or les routes sont habillées généralement d'un symbole de 1mm. En d'autres termes, toute variation inférieure à la largeur du symbole n'est pas perceptible par l'oeil du fait que celle-ci est cachée par la symbolisation attribuée au tronçon de route. Donc l'intervalle entre deux vertex doit être supérieure ou égale à la largeur du symbole attribué. C'est ainsi que nous proposons la règle suivante :

« le pas entre deux vertex consécutif doit être supérieur ou égal à la largeur du symbole à l'échelle de la sortie (dans notre cas l'échelle de représentation est 1 : 500 000). Au dessus de cette distance, tout vertex est considéré comme un bruit et il est systématiquement enlevé de la collection de points constituant le tronçon traité ».

Il existe une relation de proportion inverse entre l'échelle d'affichage et la largeur du symbole, ce qui fait qu'à chaque fois que nous passons d'une échelle détaillée (grande échelle) à une échelle plus petite, la largeur du symbole s'épaissit et le niveau de détail diminue. Il est clair que le pas exigé entre deux vertex est sensible à la symbolisation attribuée à l'objet et même si on se restreint à travailler sur une échelle de 1 : 500 000. Le changement de symbole d'un type de route pour une cause donnée n'est pas sans conséquence sur le pas exigé, dans un esprit de faire face à n'importe quel changement dans la symbolisation. Nous proposons de récupérer la largeur du symbole attribué à l'objet au lieu de le prendre comme paramètre fixe inchangé, ainsi l'algorithme sera adaptable à n'importe quelle échelle et à n'importe quel type de symbole et le pas sera calculé comme suit :

Pas := [distance terrain entre deux vertex * largeur du symbole à l'échelle de sortie]

Etape2 : Résolution de l'auto-conflit

Dans cette étape, nous utilisons les algorithmes de traitements locaux (sélection / élimination par trois points). Le principe de ce type d'algorithme est de faire une étude par triangle formé par trois points consécutifs. Certains algorithmes utilisent le critère de distance (retenir le point sommet s'il est distant de la base du triangle d'une hauteur $H \geq H_{seuil}$ comme proposé par Jenks[4] , d'autres s'appuient sur le critère de surface (retenir le point sommet si la surface du triangle $S \geq S_{seuil}$ comme vu dans l'algorithme de Visvalingam ou d'angle (retenir le point sommet si la somme des angles de la base du triangle $\alpha_1 + \alpha_2$ est supérieure ou égale à α_{seuil} comme proposé par Mac master[6].

Lors de l'application de ces différents algorithmes, nous avons constaté que le dénouement du conflit n'est pas abordé mais plutôt éliminé. Nous avons exploité dans cette partie la propriété de mesure par rapport à un seuil (ce seuil est pris comme paramètre d'entrée) proposé par cette catégorie d'algorithmes comme astuce pour détecter les zones de conflits mais nous avons évité l'élimination brusque du conflit qui caractérise ce type d'algorithmes en intégrant un module de caricature qui a pour but de traiter le conflit (l'empâtement avec ses différents cas de figures). La suppression du point sommet

reste une option d'échange si le traitement de l'auto-conflit n'aboutit pas à son élimination. Les opérations de caricature ont l'avantage de résoudre le conflit au lieu de l'éliminer (comme vu dans les algorithmes de filtrage) mais présentent bien des imperfections quand il s'agit d'analyser la répercussion de ce type de traitement sur l'intégralité de la ligne et sur les objets à proximité de celle-ci. Le problème réside dans le fait que l'élimination d'empâtement passe essentiellement par une série d'écartement du virage jusqu'à la disparition du conflit, mais l'ensemble des écartements effectués sur le virage n'est pas sans conséquence, car l'élargissement d'un virage produit l'effet domino sur les tronçons de lignes de part et d'autre le virage empâté, ce qui peut générer encore plus de conflits.

La criticité apparaît claire, il ya un gain dans l'élimination de conflits (l'auto-conflit ou encore l'empâtement) et un risque de générer d'autre conflits qui ne seront pas forcément des auto-conflits en utilisant une opération de caricature pure. Nous nous sommes alors fixés l'objectif suivant « Résoudre le conflit sans pour autant abîmer la forme globale de la ligne ».

Pour atteindre cet objectif, nous proposons d'écartier le virage en conflit une seule fois avec un facteur d'écartement Z calculé, si l'élargissement ne suffit pas à résoudre le conflit, on se tourne vers la suppression du point sommet comme meilleure alternative qui nous garanti le respect de nombreuses contraintes cartographiques. Le traitement effectué dans cette étape est décrit par l'algorithme suivant : (Figure 2).

Tailler-conflit (collection 2, taux seuil de généralisation)

DEBUT

Soient A, O, B, O', B' : point

Soit collection 3 : collection de 3 points

Soit R : entier // le rapport de comparaison

Soit R' : entier // le rapport de comparaison par rapport au seuil

Soit Z : entier // facteur d'écartement

Soit X : entier // distance indicatrice de l'écartement

A := premier point de la collection 2

O := Avancer (collection 2, A, 1)

B := Avancer (collection 2, A, 2)

TANT QUE B ≠ NUL et O ≠ NUL

FAIRE

$$R = \frac{\text{distance}(A-B)}{\text{distance}(A-O) + \text{distance}(O-B)}$$

SI

R ∈ [0, 95, 1]

O := Avancer (collection 2, A, 2)

B := Avancer (collection 2, A, 3)

SINON

SI R ∈ [seuil, 0, 95]

Insérer (A, collection 3)

A := O

O := Avancer (collection 2, A, 1)

B := Avancer (collection 2, A, 2)

X := seuil * [distance(A-O) - distance(O-B)]

// x est la distance qui doit déplacer le point A du point B pour une éventuelle résolution du problème d'empâtement.

Z := X - distance(A-B) // distance d'écartement

O' := O déplacé d'un facteur Z

B' := B déplacé d'un facteur Z

$$R' = \frac{\text{distance}(A-B')}{\text{distance}(A-O') + \text{distance}(O'-B')}$$

Si R' ≥ seuil

Remplacer (collection 2, O, O')

//remplacer O par O' dans la collection2

Remplacer (collection 2, B, B')

Insérer (A, collection 3)

A := O'

O := Avancer (collection 2, A, 1)

B := Avancer (collection 3, A, 2)

SINON

O := Avancer (collection 2, A, 2)

B := Avancer (collection 2, A, 3)

FSI

FSI

FAIT

FIN

Fig. 2 Etape 2 du processus de généralisation proposé.

La figure suivante (figure 3) présente un tronçon de route généralisé avec des taux de généralisation

choisis arbitrairement (ces schémas sont agrandis afin de pouvoir analyser les résultats).

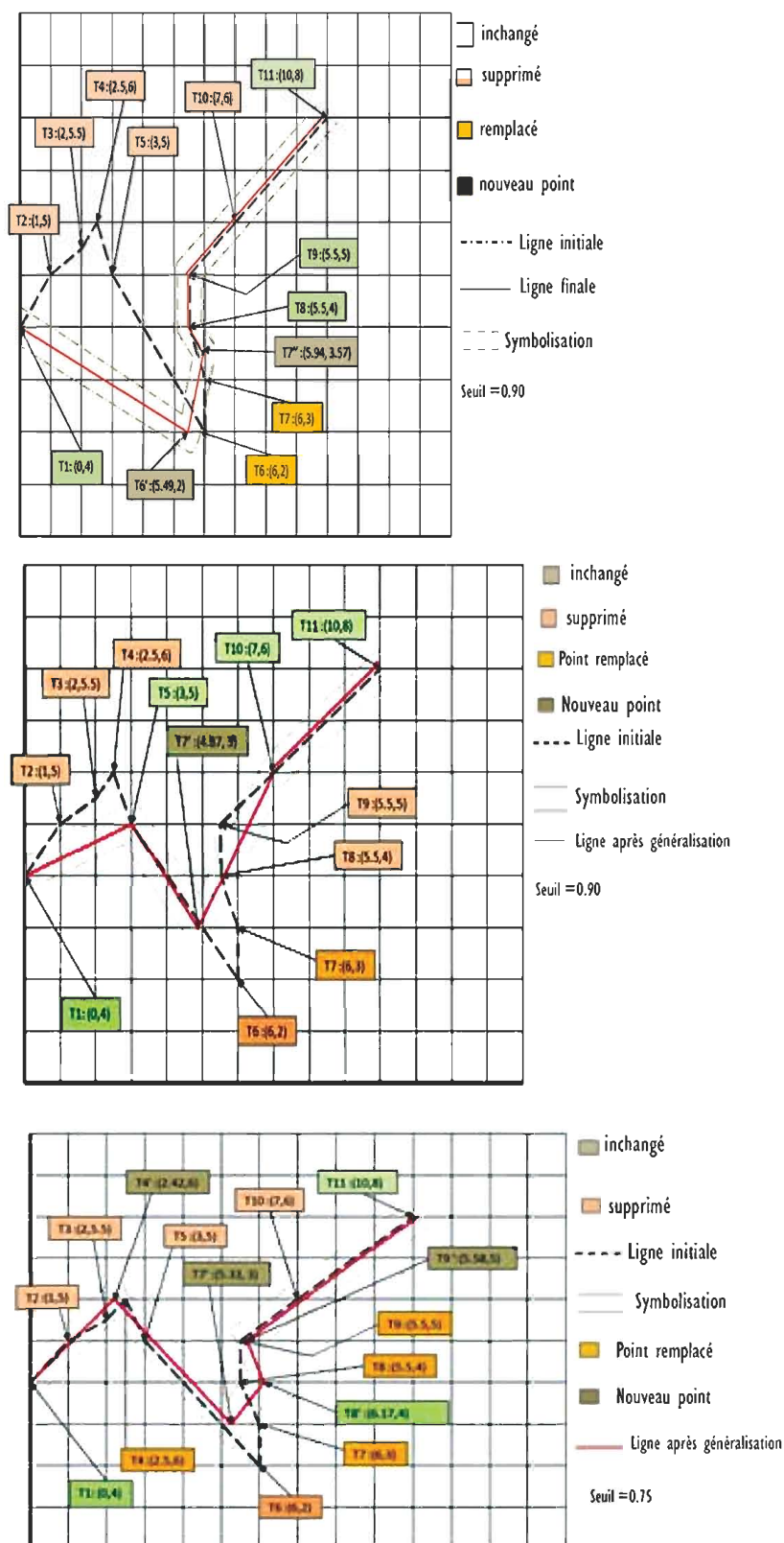


Fig. 3 Tronçon de route généralisé avec des taux de généralisation respectifs 0,90, 0,80 et 0,75

D'après la figure 3, nous remarquons que plus le taux de généralisation est élevé moins nous nous rapprochons du tracé initial, si c'est le cas, nous disons que la généralisation s'effectue sans perte d'informations (le cas idéal). Cependant cette perte n'est pas déplorée si l'objectif de la généralisation est atteint.

Etape 3 : Atténuation des fortes angularités

Ce troisième traitement se dirige plutôt vers un but esthétique de la carte. L'application des deux premiers traitements (réduction du nombre de vertex et traitement de conflits), transmet au linéaire routier de fortes angularités (phénomène de marche d'escalier) qu'il faut atténuer afin de conserver la forme courbée des virages. Pour retrouver cette forme courbée, nous avons automatisé une opération assez courante dans la généralisation cartographique manuelle. Cette opération est celle du lissage qui est considérée dans la littérature comme une vision

complémentaire du filtrage (les deux opérations appartiennent à la catégorie d'algorithme de simplification). Le lissage permet de rajouter des points au lieu d'en supprimer (contrairement au filtrage qui lui, supprime des points). Pour cela on dessine le cercle inscrit dans le triangle constitué de trois points consécutifs et dont le centre est le point d'intersection des trois bissectrices internes du triangle. Le point sommet du triangle est projeté sur le cercle inscrit à l'intérieur du triangle et est remplacé par le point de projection et les deux points tangentiels du triangle, de cette manière le virage n'est plus défini par un point sommet et deux points voisins de part et d'autre mais par 5 points : le point résultant de la projection du point sommet sur le cercle inscrit dans le triangle, les deux points tangentiels et les deux points délimitant la base du triangle (Une fois le virage symbolisé il retrouve sa courbure naturelle qu'il avait auparavant (avant la généralisation) voir la figure 4.

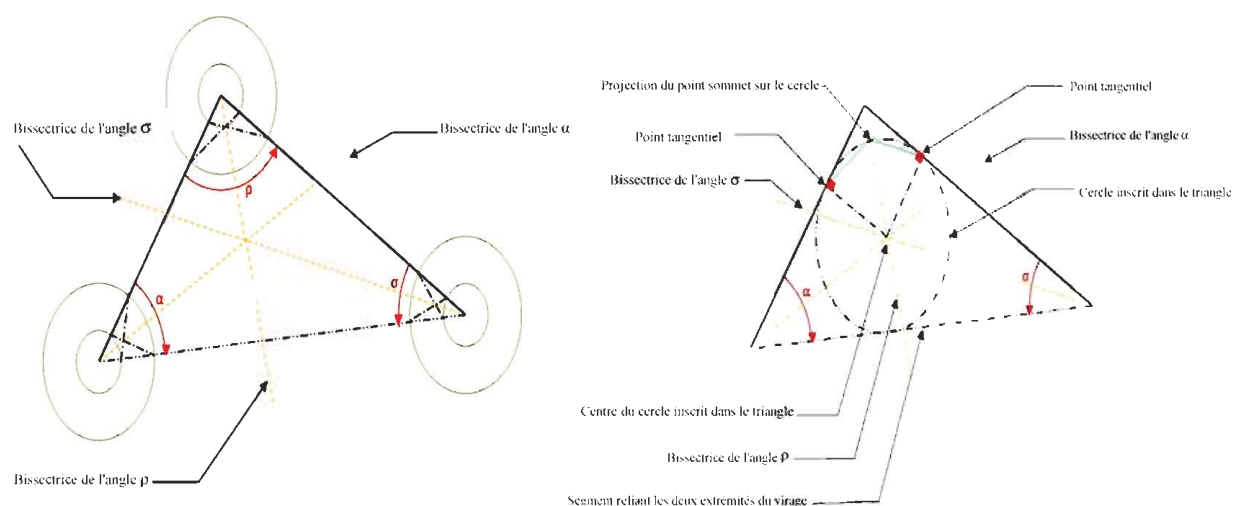


Fig. 4 Atténuation des angularités (algorithmes basés sur des traitements mathématiques).

6. Expérimentation et résultats

L'automatisation du processus de généralisation selon l'approche proposée passe par le développement des différents algorithmes représentant les opérateurs de généralisation que nous appliquons. Nous avons choisi la plateforme SIG «ArcGis Desktop 9.2» qui offre un environnement de développement basé sur le langage de programmation VBA « Visual Basic Application ».

6.1 Description de la zone d'étude

La zone d'étude choisie est la zone de «Tizi ouzou» située au nord d'Algérie (région du centre). Cette zone est caractérisée par sa texture montagneuse. La BDC que nous exploitons est à l'échelle 1 : 200 000. L'importation et la manipulation de cette donnée se fait sous ArcGis 9.2. La figure 6 représente le thème « Voie de communication » de la zone d'étude et la figure 7 représente la structure de la Géodatabase (la donnée est en mode vecteur).

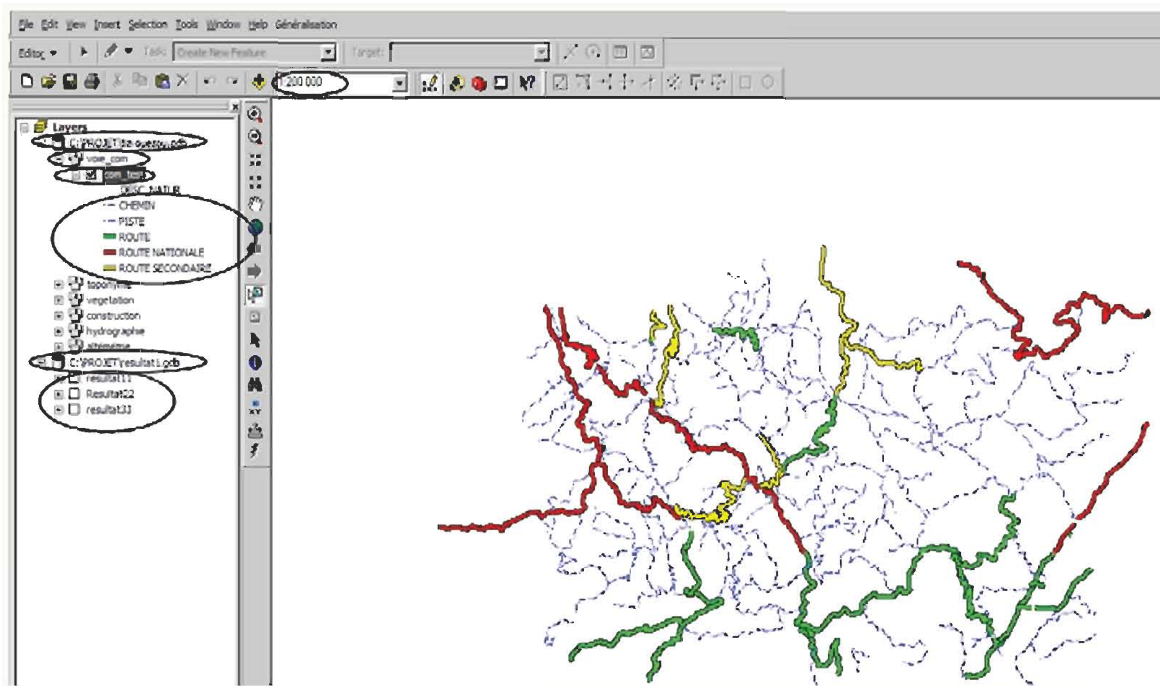


Fig. 6 Thème Voies de communication de la zone d'étude.

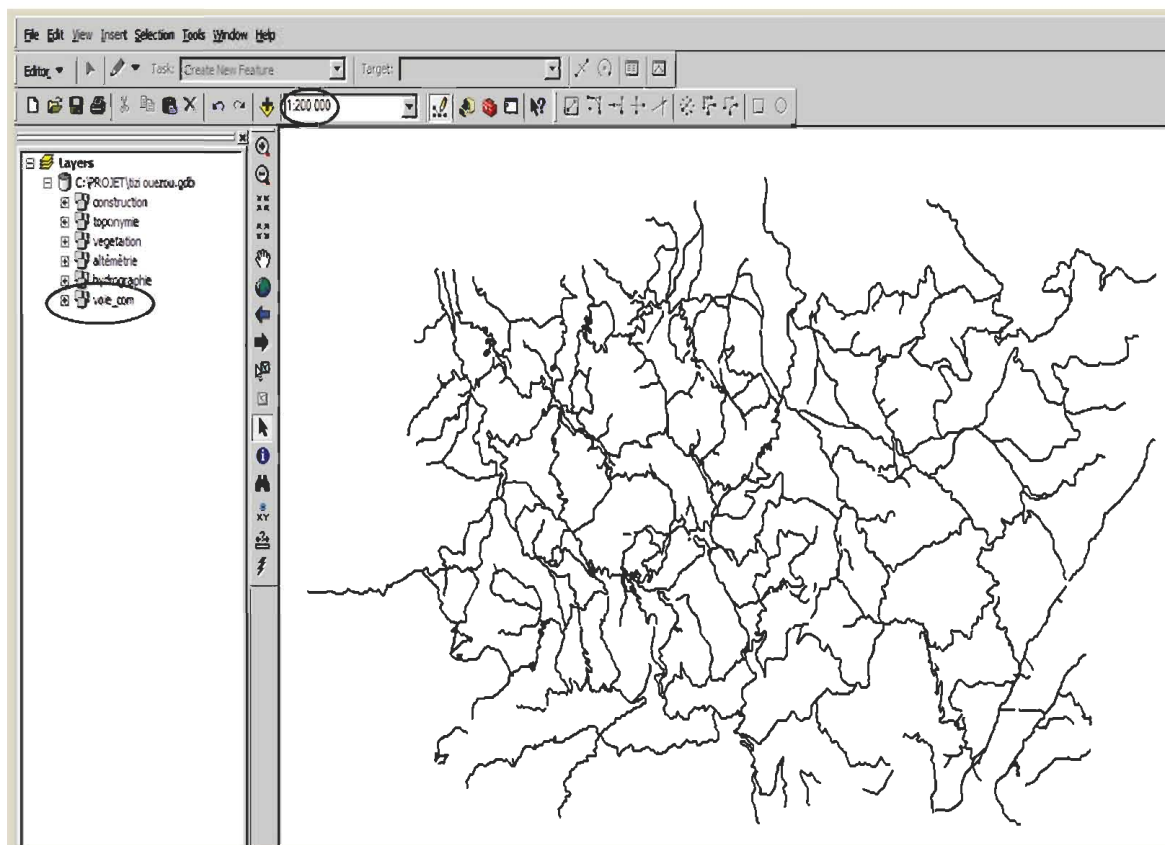


Fig. 7 Structure de la Géodatabase.

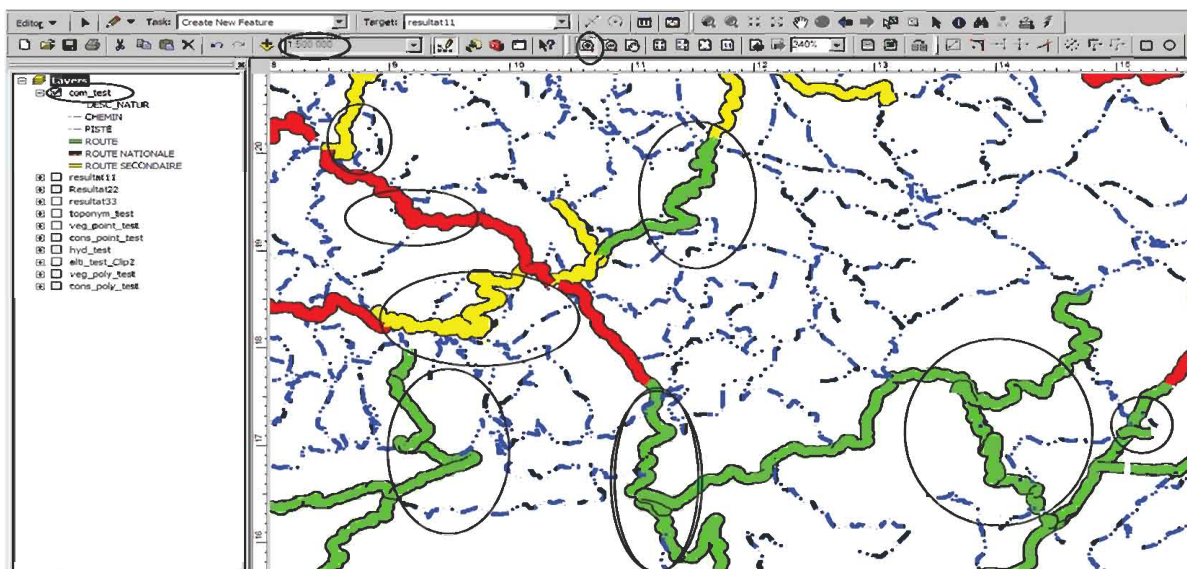


Fig. 8 Identification des zones de conflits lors de la réduction d'échelle (1 : 200 000 → 1 : 500 000).

Dans la figure 8, nous mettons en évidence les zones de conflits après réduction d'échelle (passage de 1 : 200 000 vers 1 : 500 000).

6.2 Présentation du prototype

L'application développée constitue un composant intégré au module ArcMap du SIG ArcGIS 9.2

(Interface de la figure 9). Nous avons personnalisé l'environnement d'ArcMap en introduisant le menu Généralisation contenant les options : Généralisation Globale, Généralisation par Sélection, un sous menu Affichage contenant trois sous options : traitement1, traitement2, traitement3, représentant les différentes phases de l'approche proposée. La figure 9 représente l'interface principale de l'application.

Quelques interfaces du prototype

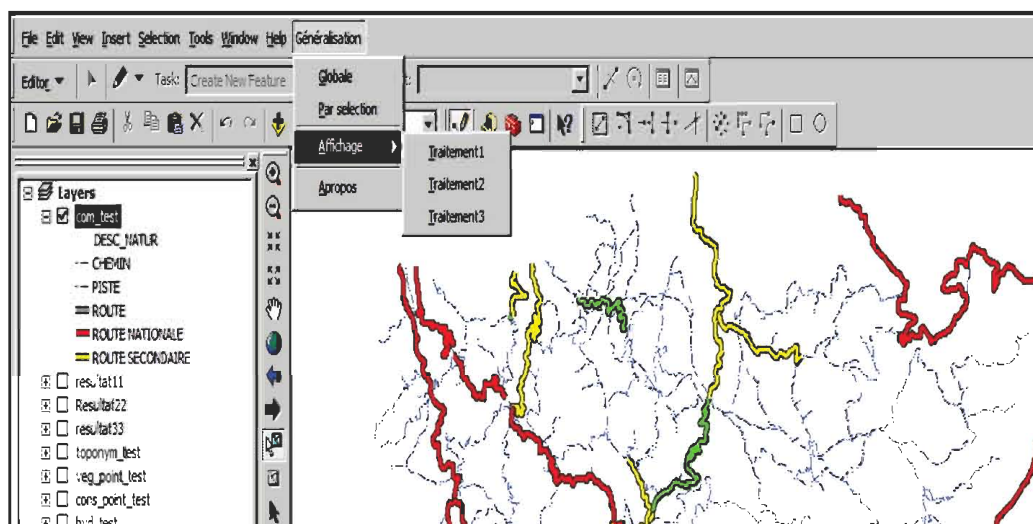


Fig. 9 Personnalisation de la barre de menu d'ArcMap.



Fig. 10 Activation de la généralisation globale.

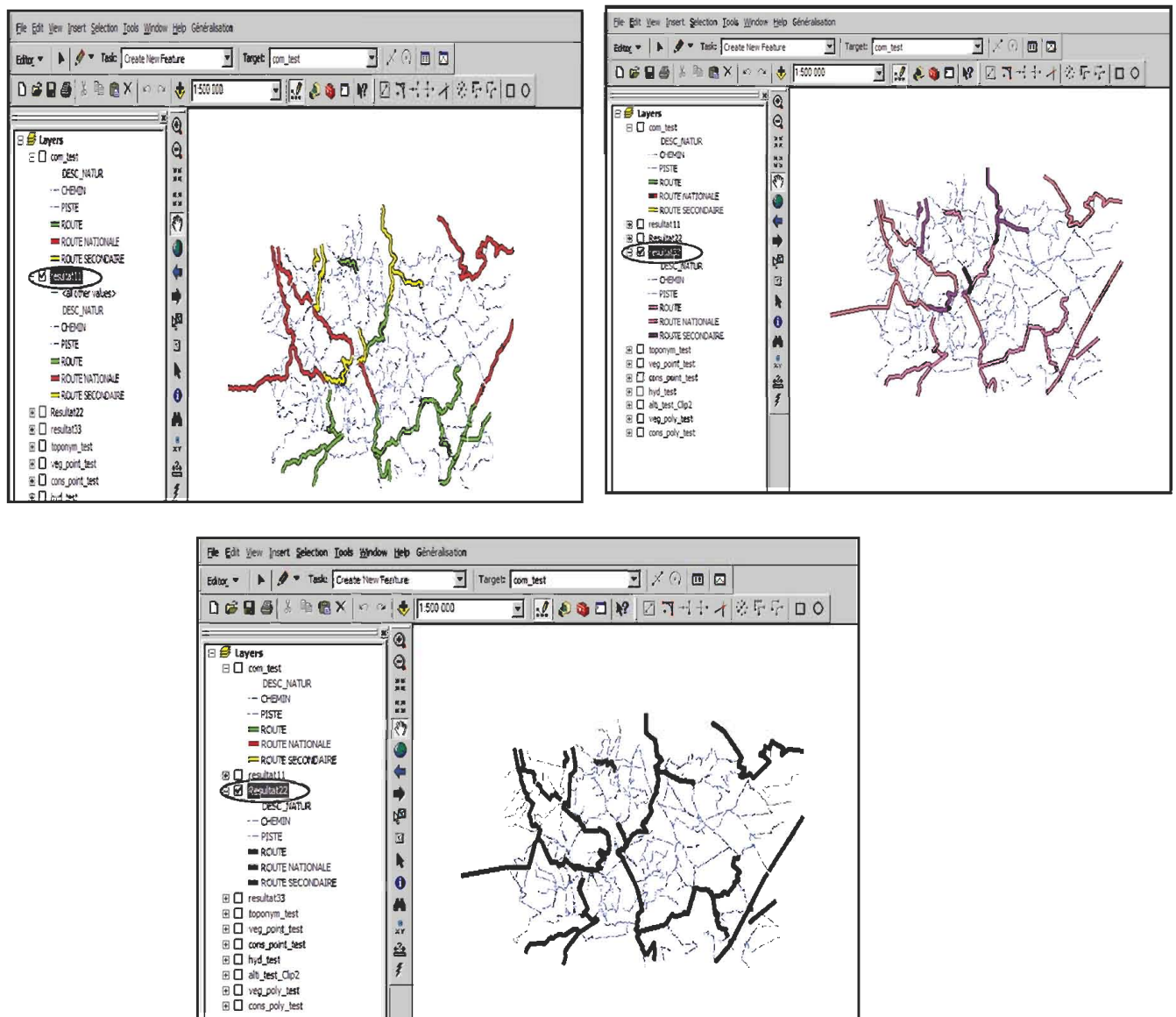


Fig. 11 Résultats respectifs des traitements 1,2 et 3 d'une généralisation globale.

Rappelons que le prototype que nous avons développé offre la possibilité de faire une généralisation globale ou par sélection, la deuxième option permet à l'opérateur de sélectionner les tronçons à

généraliser, ceci s'avère nécessaire pour apporter un plus, après une généralisation globale (voir les interfaces de la figure 11).

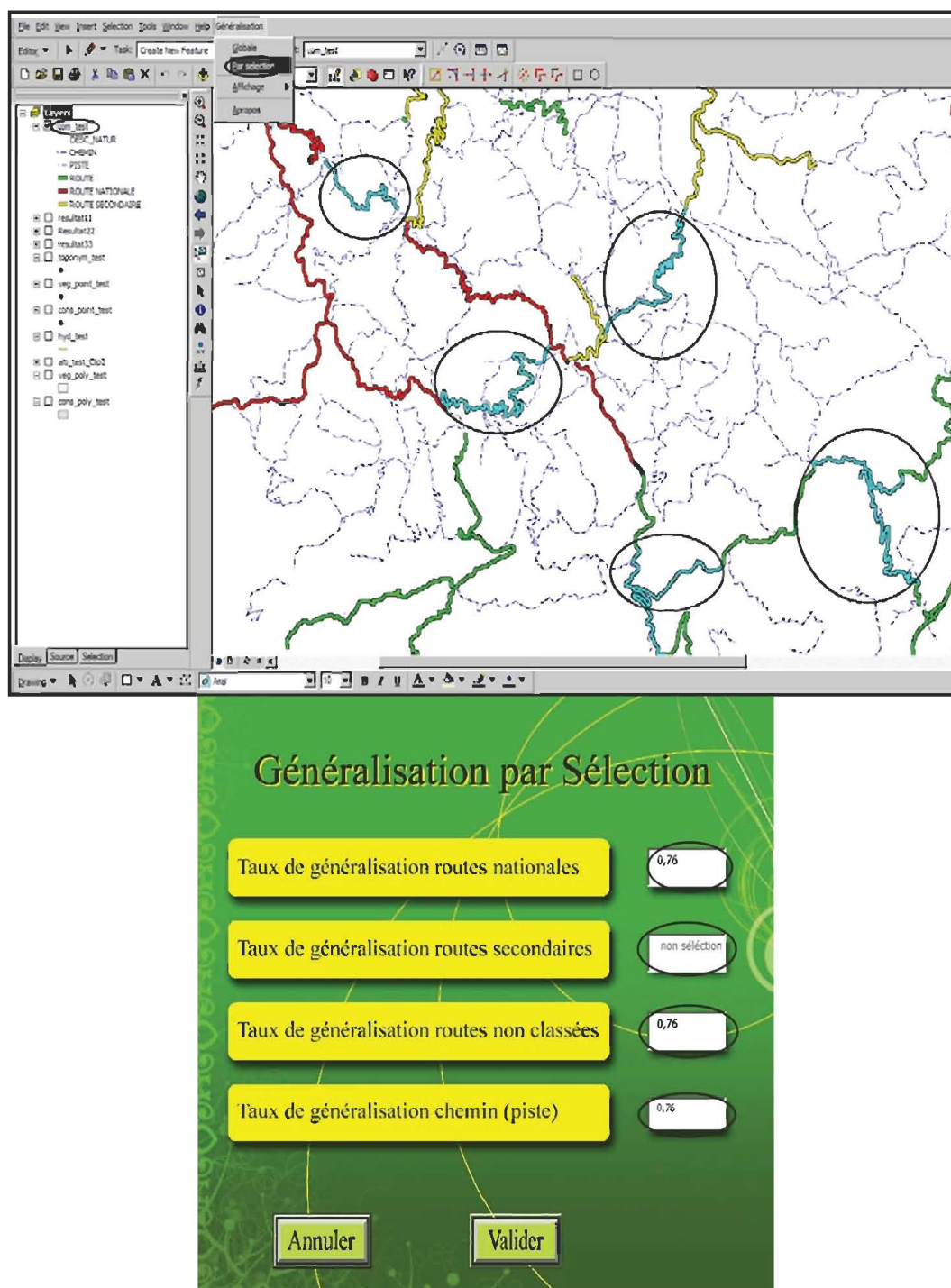


Fig. 12 Activation de la généralisation par sélection.

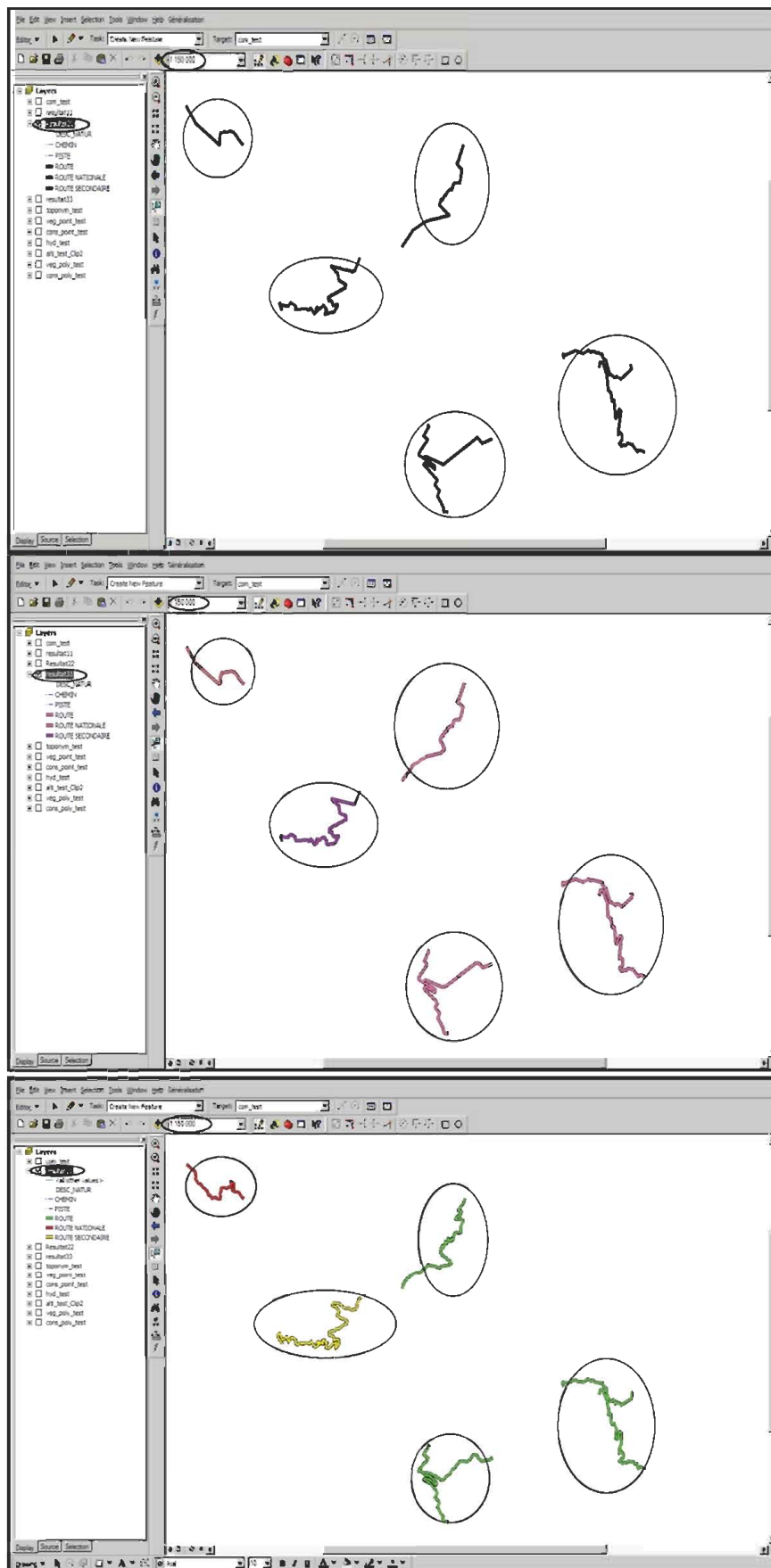


Fig. 13 Résultats des trois traitements 1,2,3 d'une généralisation par sélection.

Nous terminons par cette illustration agrandie d'un tronçon de route sur lequel nous avons appliqué le

processus de généralisation proposé pour la résolution de l'auto-conflit (voir figure 14).

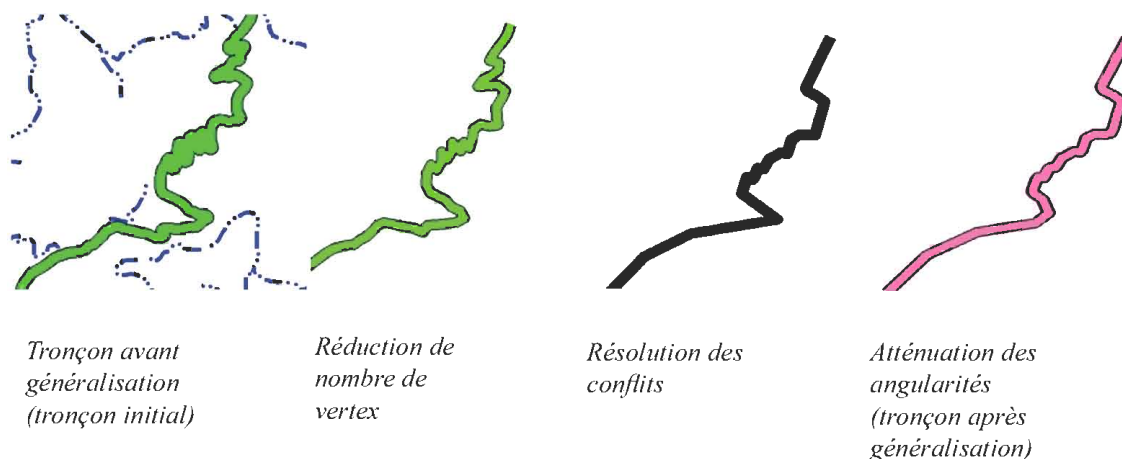


Fig. 14 Comportement d'un tronçon de route durant les différentes phases de généralisation.

7. Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous nous sommes penchés sur un type particulier de conflits provoqués par le linéaire routier, il s'agit de l'auto-conflit avec ses différents cas de figures (superposition, angle aigu et l'effet de boudinage). Nous avons fait appel à plusieurs opérateurs de généralisation basés sur différents algorithmes connus dans la littérature. Nous avons également formalisé et exploité les connaissances d'un expert cartographe. L'utilisation simultanée de plusieurs algorithmes permet, à notre avis, de renforcer l'efficacité de l'approche proposée. Cependant, il ne suffit pas de rassembler différents algorithmes de généralisation dans un processus, faut-il encore savoir dans quel ordre les appliquer car c'est cet ordre qui va guider le traitement vers un tel ou tel résultat. Nous parlons dans ce cas d'un système d'orchestration du déclenchement de ces algorithmes. Comme perspectives, nous proposons :

- Traiter les autres types de conflits à savoir ; le conflit intra-couche (conflit entre les objets du même thème) et le conflit inter-couches tout particulièrement avec le bâti (les thèmes routier et bâti sont intimement liés), (ce travail est en cours de développement).
- L'approche proposée peut être adaptée à la généralisation cartographique des autres thèmes linéaires en prenant en considération les spécificités de chaque thème.

Remerciements : Nous tenons à remercier Mr L'haddad Samir et Melle Hadj Cherif Radia pour leur participation active à l'élaboration de ce travail réalisé à l'INCT dans le cadre de leur PFE (2009).

Références Bibliographiques

- [1] P.CORINE. *Analyse de la géométrie des objets linéaires pour la généralisation cartographique*. Thèse de doctorat. Paris, 1996. 199p.
- [2] C.DUCHENE. *La généralisation cartographique par agents communicant*. Thèse de doctorat : informatique. Paris, 11 juin 2004. 232p.
- [3] F.FRISCH. *Représentation de la géométrie et des contraintes cartographiques pour la généralisation du linéaire routier*. Thèse de doctorat : science de l'information géographique. Paris, 8 juin 2001. 2001p.
- [4] G-F JENKS. *Geographic logic in line generalization*. Cartographica. 1989 vol 26, no 1, p27-43.
- [5] R.MCMASTER. *Mathematical measures for the evaluation of simplified lines on maps*. Rapport de thèse. Université du Kansas, 1983.
- [6] R.MCMASTER. *The integration of simplification and smoothing algorithms in line generalization*. Cartographica. 1989 vol 26. pp 101-121.
- [7] S.MUSTIERE. *Apprentissage supervisé par la généralisation cartographique*. Thèse de doctorat en informatique. Paris, 08 juin 2001. 246p.

- [8] N.REGNAULD. *Généralisation du bâti : structure spatiale de type graphe et représentation cartographique. Thèse de doctorat : informatique.* Paris, 11 mai 1998. 191p.
- [9] A.RUAS. *Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et autonomie. Thèse de doctorat : science de l'information géographique.* Paris, 09 avril 1999. 267p.
- [10] EDSALL. *Cultural factors in digital cartographic design, implications for communication to diverse users.* cartography and geographic information science, 34(2) : 121-128,2007
- [11] J.GAFFURI. *Généralisation automatique.* Ecole nationale des sciences géographiques-Institut Géographique National- Laboratoire COGIT. Octobre 2008
- [12] K.DERBAL AMIEUR,B.LEJDEL, Z.ALIMAZIGHI. *A hybrid approach to modeling and managing multiple representation of spatial data (application theme :road network).* International Conference on Information &Communication systems ICICS'2009, NYIT JORDAN, University of Science and Technology(Amman JORDAN).
-