

# IMPLÉMENTATION DE NOUVELLES TECHNOLOGIES POUR AUTOMATISER LES PROCESSUS CARTOGRAPHIQUES DE GÉNÉRALISATION ET DE MISE À JOUR INCREMENTALE

Par Yolène JAHARD, Cécile LEMARIÉ, François LECORDIX

Institut Géographique National, projet Carto2001, 2-4 av. Pasteur, 94165 Saint-Mandé CEDEX, France

Tel : (33) 1 43 98 85 45 / Fax : 81 71 – {yolene.jahard,cecile.lemarie,francois.lecordix}@ign.fr

---

## Résumé

En 1999, l'Institut Géographique National a décidé de lancer une nouvelle série de cartes au 1:100 000 appelée Top100 : ces cartes seront dérivées de la base de données de référence BDCarto® qui couvre tout le territoire français avec une résolution de 10 mètres. Le projet Carto2001 a été chargé de concevoir le processus permettant de réaliser et d'entretenir la future série topographique IGN à partir de la base de données IGN BDCarto® comme unique source de d'information. La généralisation, le placement des écritures et la mise à jour furent les principaux axes de développement. Le plus important défi économique concerne le processus incrémental de mise à jour : le coût sera réduit grâce à l'automatisation de la mise à jour à partir des évolutions de la base de données source. Les résultats de recherche permettaient justement au projet de disposer des moyens pour remplir ses objectifs. Le projet européen AGENT, dirigé par l'IGN et dont le partenaire commercial était Laser-Scan a mis à notre disposition les dernières avancées technologiques sur la généralisation tandis que le laboratoire COGIT de l'IGN nous fournissait les développements de base sur le placement des écritures et les méthodes de mise à jour. Notre problématique devint alors d'industrialiser ces outils puissants dont nous disposions et, en particulier, d'assurer la transition permettant de passer d'un contexte recherche à un contexte de production, comportant bien plus de contraintes. Dans cet article, nous allons décrire le processus de généralisation qui a été développé ainsi que les opérations de mise à jour appliquées aux données, tout en illustrant nos explications d'exemples concrets, sans oublier de mentionner les pièges ou problèmes rencontrés et la manière dont nous les avons contournés. Enfin, nous concluons par la présentation d'un ensemble de résultats et nous donnerons quelques chiffres pour exprimer les gains obtenus en termes de coût.

**Mots-clés:** cartes au 1:100 000, généralisation, mise à jour automatique, système multi-agents, beams.

---

## 1 INTRODUCTION

L'idée d'une chaîne de production des cartes au 1:100 000 (appelons la série Top100) dérivée de la base BDCarto® n'est pas nouvelle à l'IGN. Un premier projet, basé sur les mêmes objectifs commença en 1994, mais le contexte technologique était alors très différent. Le coût de fabrication avait finalement été jugé trop important pour mettre en place la nouvelle chaîne de production. L'estimation concernant la généralisation atteignait 1000 heures de travail opérateur par carte et la fabrication complète durait 16 mois (2500 heures). Ce résultat s'explique par un processus essentiellement interactif, dénué d'algorithmes efficaces de généralisation et mis en œuvre avec un SIG relativement peu puissant, qui ne permettait pas le développement d'outils perfectionnés ou de fonctionnalités de détection de conflits. Tirant enseignement des conclusions

du projet précédent et dans un contexte de recherche parvenu à maturité, le projet Carto2001 fut lancé en 1999.

## 2 CONTEXTE ET OBJECTIF

### 2.1 Les objectifs et contraintes du projet

L'objectif principal du projet Carto2001 est de concevoir un processus automatisé sous contrôle, de la série de cartes Top100 :

- Utiliser au mieux les résultats de recherche pour garantir la fabrication initiale de la carte en moins de 8 mois.
- Elaborer un processus qui permettra de mettre à jour une carte pour moins de 3000€.

Les contraintes initiales prévoyaient l'utilisation du SIG LAMPS2 fabriqué par Laser-Scan, l'utilisation de la BDCarto® comme source unique de réalisation et de mise à jour et le respect des spécifications cartographiques établies par le projet précédent. Rapidement, les trois principaux axes de développements furent identifiés puis lancés en parallèle :

- Exploitation du projet AGENT
- Implémentation de la mise à jour automatique
- Placement automatique des écritures

En dehors des objectifs fixés initialement au projet, d'autres enjeux techniques sont apparus nécessaires pour permettre la réduction des coûts de généralisation et de mise à jour. Le principal objectif était de concevoir une base de données cartographique Top100 couvrant la totalité du territoire français. Une fois encore, cette contrainte avait été mise en évidence par les conclusions du projet précédent : le taux de recouvrement moyen entre les feuilles Top100 atteint 40% donc la gestion d'une base de données unique apporte un bénéfice significatif.

## 2.2 Placement automatique des écritures

L'expérience de l'IGN concernant le placement des écritures est plus avancée que dans les domaines de la généralisation ou de la mise à jour et déjà certaines chaînes de production cartographique utilisent les modules développés par le laboratoire COGIT (1) et (2).

Néanmoins, la mission du projet dans ce domaine est très importante pour l'établissement et consiste à donner accès à tous les utilisateurs potentiels de l'IGN au placement automatique, ce qui n'était pas le cas jusqu'à présent puisque le logiciel n'était facilement utilisable et maintenu uniquement par le laboratoire COGIT.

En pratique, le code ADA sous VMS a été porté sur une version PC, et le module de placement initial (qui travaillait seulement sur les écritures horizontales et les numéros de routes) a été étendu au placement de nouvelles écritures comme les écritures hydrographiques. Enfin, pour fournir le logiciel complet et autonome appelé WINPAT, certaines fonctionnalités ont été ajoutées afin de permettre à l'utilisateur de modifier les paramètres de calcul et de visualiser les résultats obtenus.

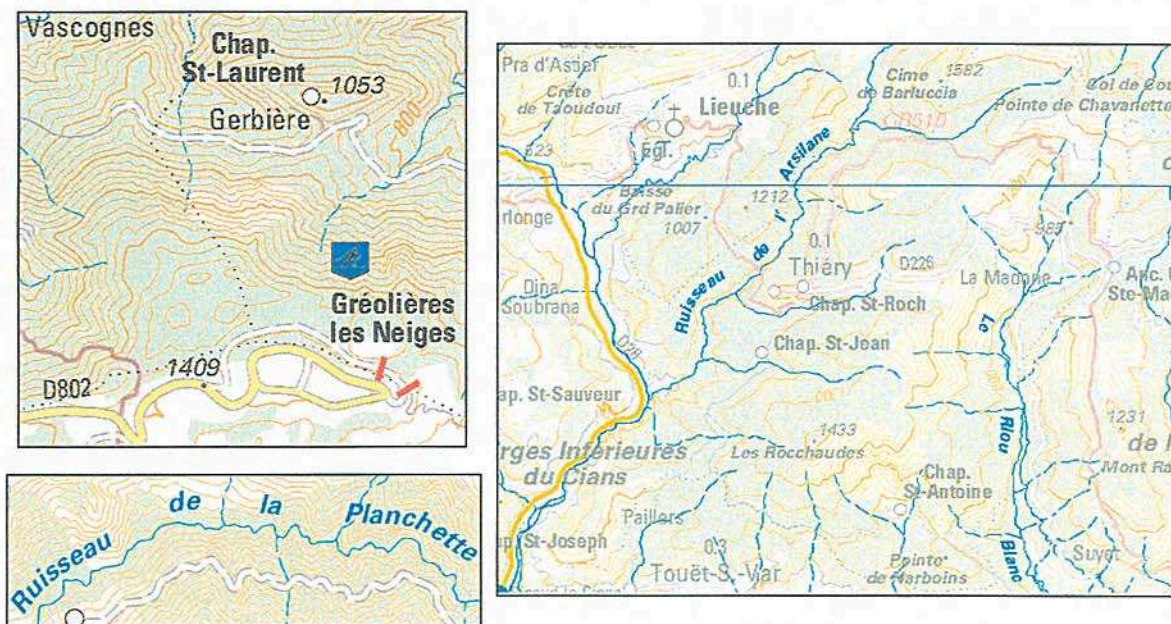


Figure 1 : placement automatique des écritures : altitudes, noms de rivières, pictogrammes, écritures horizontales, numéros de routes

## 2.3 L'état des recherches en généralisation et mise à jour

Le lancement du projet Carto2001 coïncide avec l'arrivée à maturité des recherches dans les domaines de la généralisation et de la mise à jour automatique. En fait, le projet européen AGENT mené par l'IGN était prévu pour se terminer avant la fin de l'année 2000. Un des résultats

attendus était un prototype de généralisation automatique développé sur le SIG LAMPS2 et utilisant un système multi-agents. Ce prototype allait devenir la pierre d'angle du processus de généralisation du projet Carto2001.

### 1 Le projet européen AGENT

A l'issue de 6 ans de recherche sur la généralisation automatique, l'IGN a initié le projet européen AGENT qui

allait durer 3 ans. Ce projet s'est terminé en décembre 2000 et il a rassemblé cinq partenaires : le laboratoire COGIT de l'IGN, la société Laser-Scan (fabricant du logiciel LAMPS2), le laboratoire Leibniz de l'INPG (spécialisé dans les techniques multi-agents) et les départements de Géographie de l'Université de Zurich et d'Edimbourg (spécialisés en généralisation).

Le but du projet était de concevoir un prototype de généralisation cartographique s'appuyant sur les concepts multi-agents et de l'implémenter sur un SIG du commerce (3), (4). De plus, le prototype devait intégrer les algorithmes de généralisation développés dans les trois laboratoires de recherche concernés (COGIT, Zurich et Edimbourg).

Les principes mis en œuvre dans le projet AGENT sont essentiellement basés sur les travaux de thèse d'Anne Ruas (5). La généralisation automatique consiste à travailler sur des objets cartographiques qui doivent résoudre un certain nombre de conflits (conflits internes et avec d'autres objets) afin d'améliorer la lisibilité de la carte. La méthode AGENT vise à leur donner l'autonomie permettant de résoudre eux-mêmes ces conflits. Ces objets sont appelés agents et ils possèdent chacun et ensemble, des buts à atteindre. Ils ont la capacité d'analyser leur propre état (à l'aide de mesures), de déclencher des algorithmes et de tester si les conflits sont résolus. L'état d'un objet est caractérisé par un ensemble de contraintes à satisfaire, ces contraintes sont la traduction des règles cartographiques que l'on souhaite observer dans le processus de dérivation cartographique à partir de la base de données source.

Les résultats du projet AGENT étant visiblement très efficaces, la plate forme LAMPS2 a naturellement été choisie par le projet Carto2001 pour le processus de dérivation de la Top100. Le logiciel offrait également d'autres caractéristiques intéressantes pour le développement du module de mise à jour : capacités de versionnement, gestion de gros volumes de données, « reflex » méthodes associées aux objets et accès multi-utilisateurs.

## 2 Les recherches sur la mise à jour

En 1996, l'IGN par l'intermédiaire du laboratoire COGIT a décidé de commencer les recherches sur la propagation des mises à jour dans un système de base de données multi-échelles. Les résultats de ces travaux sont détaillés dans la thèse de Thierry Badard (6). Les principales innovations sont les suivantes :

- L'implémentation d'une méthode permettant de retrouver les évolutions entre deux versions de la même base de données géographiques. Cette méthode s'appuie sur des algorithmes d'appariement de données géographiques et permet l'extraction d'informations de mise à jour minimales mais détaillées qui explicitent les modifications effectuées dans le SIG entre les deux versions.

- Afin de fournir ces informations de mise à jour aux utilisateurs, de nouveaux procédés de livraison ont été définis. Un de ces procédés est basé sur l'utilisation d'XML (eXtensible Markup Language) (7). Cela permet une description synthétique et dynamique des évolutions et rend possible la communication sur Internet par exemple.

- Un mécanisme d'intégration des évolutions et de propagation de leurs effets dans des bases de données multi-échelles (pouvant comporter des informations ajoutées par les utilisateurs) a également été défini et testé. Ce mécanisme repose sur un ensemble de règles qui rendent possible l'automatisation et le contrôle de la propagation des mises à jour en préservant la cohérence des données et en interdisant la perte d'information. Les divers tests menés ont conclu que 85% des mises à jour pouvaient être propagées automatiquement par ce procédé.

A l'IGN, le projet Carto2001 sera le premier utilisateur qui bénéficiera de ces innovations : le squelette du processus de mise à jour et les données d'évolution manipulées par le projet sont inspirés par ces travaux de recherche.

## 3 PRINCIPALES ÉTAPES : DE LA BASE DE DONNÉES À LA CARTE

### 3.1 La base de données source

La BDCarto® est une base de données géographiques de résolution 10 mètres qui couvre l'intégralité du territoire français. L'information est organisée sous forme de thèmes, eux-mêmes composés de différentes classes d'objet qui sont reliées entre elles par des relations spécifiques. Les principales couches parmi les 13 qui composent la base sont les routes, les voies ferrées, l'occupation du sol, l'hydrographie, les limites administratives et les informations touristiques. Les données altimétriques (courbes de niveau, estompage) sont en partie stockées dans une base de données distincte appelée BDAiti®.

Certaines relations topologiques sont explicitement stockées dans la BDCarto® (les ronds-points sont des ponctuels connectés aux routes, les gares sont des ponctuels connectés aux voies de chemin de fer, etc.).

Quelques bâtiments sont présents dans la base en tant que tels mais il s'agit uniquement d'établissements administratifs ou de constructions ayant un intérêt touristique, et ils sont codés sous forme d'objets ponctuels, sans description de leur contour. Ainsi, les principes de généralisation des bâtiments (simplification, agrégation etc.) n'ont pas eu à être utilisés pour les besoins de la Top100.

### 3.2 Les données de généralisation

Les cartes Top100 appartiennent à la catégorie topographique des cartes IGN; leur utilisation est prévue pour les déplacements en vélo et la promenade. Même si la carte possède des informations touristiques, les réseaux de communication et en particulier, le réseau routier, est l'un des thèmes prépondérant de la carte : il doit être exhaustif et parfaitement lisible. C'est pourquoi, le projet Carto2001 a choisi de faire reposer la généralisation de la Top100 sur celle de son réseau routier. Procédant de la même démarche, nous avons choisi de propager les modifications géométriques des routes aux autres thèmes qui pourraient être affectés par leur déplacement. Les objets des autres thèmes suivent ou réagissent face aux déplacements induits par les routes.

La cohérence avec le réseau hydrographique, les limites administratives et les chemins de grande randonnée (GR) sera maintenue au cours du processus, de même que les positions relatives des objets ponctuels (une église doit rester du même côté de la route après la généralisation).

Les courbes de niveau et l'occupation du sol ne sont pas des thèmes impliqués dans le processus de générali-

sation. La cause principale est qu'aucun de ces thèmes ne nécessite intrinsèquement d'être généralisé pour la cartographie au 1 :100 000. Par ailleurs, les courbes de niveau doivent rester parfaitement cohérentes avec l'estompage et les lacs, donc la propagation de la généralisation des routes sur les courbes de niveau aurait généré beaucoup d'effets de bord et les algorithmes correspondants ne sont pas disponibles à ce jour.

### 3.3 La dérivation cartographique

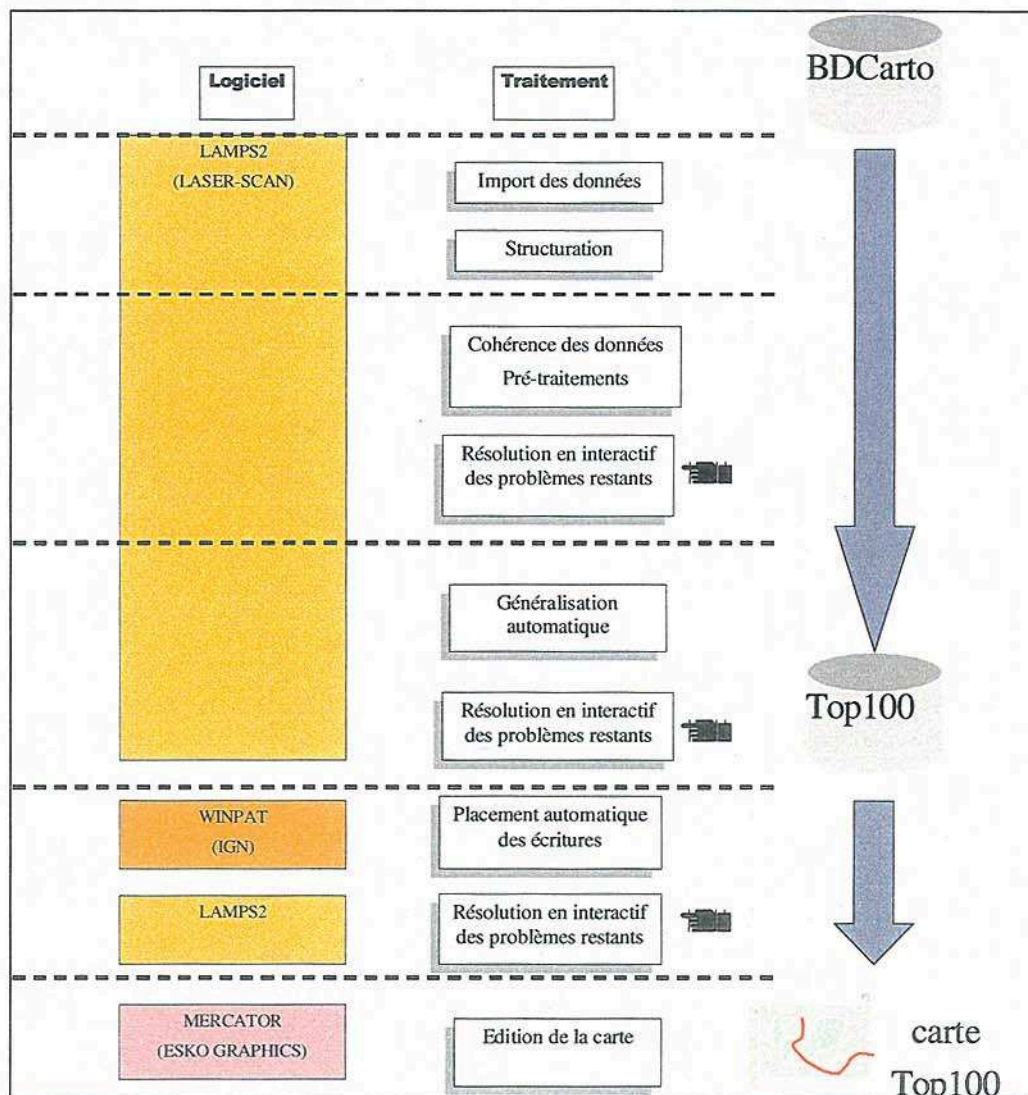


Figure 2 : la dérivation initiale

### 3.4 Traitement préliminaire

En regardant de plus près les données source de la BDCarto®, nous avons observé que la cohérence des différents thèmes entre eux n'était pas nécessairement assurée (en termes de topologie). Par exemple, le tracé des limites administratives suit par construction des portions

de routes ou de cours d'eau et ce partage de géométrie n'est pas effectif dans la BDCarto®. C'est pourquoi, le projet Carto2001 a eu besoin de développer une phase préliminaire d'enrichissement afin de préparer les données, de les faire coïncider là où c'était nécessaire et de fabriquer tous les liens entre objets dont le processus de généralisation aura besoin pour assurer la propagation.

Voici les traitements préliminaires qui sont appliqués sur les données d'origine avant la généralisation des routes :

- Les limites administratives sont appariées aux routes et aux cours d'eau.

- Les GR dont le tracé suit une route sont appariés à celle-ci.

- Les objets ponctuels sont reliés aux routes par un tronçon virtuel (afin qu'ils restent du bon côté de la route).

Notons que ces traitements sont presque entièrement automatiques. Dans quelques cas bien identifiés et marqués, l'opérateur doit intervenir manuellement et résoudre le problème en utilisant les outils interactifs.

Une fois les problèmes de cohérence résolus, la généralisation peut commencer. Le projet a choisi de résoudre d'abord les conflits d'empatement (les virages d'une route), avant de résoudre les problèmes de voisinage (deux routes qui se superposent).

### 3.5 Première étape automatique : la généralisation des virages ou généralisation indépendante

#### 1 Les techniques AGENT

Objectif : résoudre les conflits de coalescence (empatement introduit par la largeur du symbole de représentation dans les virages serrés).

L'approche multi-agents propose de résoudre les conflits de généralisation grâce à des mesures et des algorithmes spécifiques utilisés dans un procédé d'auto évaluation des objets. Ces principes ont été implémentés sur le logiciel LAMPS2 (édité par la société L'aser-Scan) et

constituent la base du prototype de généralisation du projet Carto2001.

La dérivation des données BDCarto® en objets cartographiques destinés à l'échelle du 1:100 000 nécessite :

- d'éliminer des détails minuscules qui pourraient être détectés par l'œil comme du bruit (simplification),

- d'étirer quelques virages pour les rendre lisibles (exagération),

- d'éliminer des virages dans une série (typification).

Dans le prototype AGENT, chaque route est considérée comme un agent. Lorsque la contrainte de coalescence n'est pas satisfaite, la route est découpée en plusieurs parties, homogènes du point de vue de la coalescence. Chaque partie tour à tour devient un agent sur lequel des algorithmes spécifiques vont être essayés : l'algorithme qui donne le meilleur résultat est retenu. Ainsi, au final, la route résultante est le meilleur résultat qu'il est possible d'obtenir avec les mesures et les algorithmes disponibles.

AGENT est donc utilisé pour la généralisation indépendante sur chaque objet route séparément.

Cette utilisation d'AGENT permet de tirer profit de la capacité d'AGENT à trouver la meilleure solution pour résoudre les conflits internes sans pour autant se confronter au problème des temps de traitement causés par le lancement d'AGENT sur un grand nombre d'objets. Le niveau de généralisation qu'il est souhaitable d'atteindre pour la Top100 ne souffre pas de ce choix de processus, mais pour un degré plus élevé de généralisation, où la généralisation indépendante pourrait induire plus de conflits avec les objets environnants, alors un tel choix serait discutable.

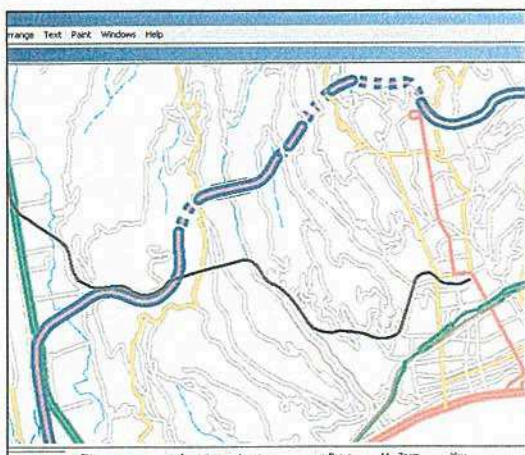


Figure 3: données BDCarto®

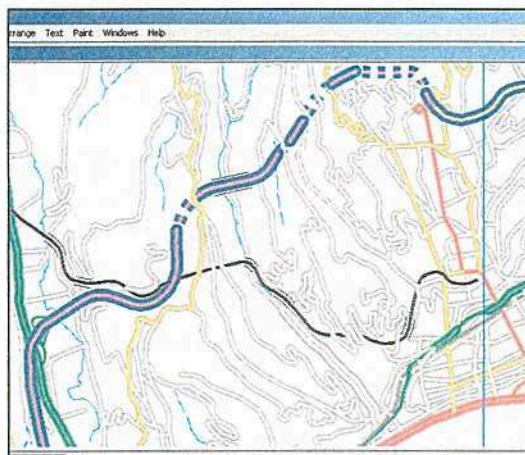


Figure 4 : résultat du processus AGENT

#### 2 Résultats

Le processus AGENT est appliqué sur une carte complète en 13 heures sur un Pentium III et moins de 1% des

objets présentent encore des conflits d'empatement à l'issue du traitement.

### 3.6 Deuxième étape automatique : la généralisation contextuelle du réseau routier

#### 1 Les Beams

Objectif : résoudre les superpositions entre les symboles linéaires et les intersections en sifflet des routes.

Les premiers tests entrepris avec AGENT permirent de conclure que le processus n'était pas utilisable pour ces besoins : les résultats n'étaient pas toujours corrects et



Figure 5 : les forces des beams

La technique des beams consiste à définir les forces internes et externes sur chaque vertex de l'objet linéaire et à trouver l'énergie minimum de ce système. Les objets se soumettent à cette force plus ou moins docilement, cela dépend de leur capacité à être déformés, compressés ou étirés. Cette technique qui semblait apporter des améliorations notables pour le déplacement des routes a finalement été implémentée par Laser-Scan et la capacité des objets à se déplacer a été paramétrée par le projet Carto2001.

Des résultats très satisfaisants sont apparus, même dans des zones très denses et dans des configurations très spécifiques comme les échangeurs. L'avantage des beams est qu'ils cherchent à trouver le compromis entre toutes les forces de répulsion, et de résoudre ainsi un peu chaque conflit, ce qui est la plupart du temps un résultat cartographiquement acceptable.

#### 2 Les graphes de flexibilité pour subdiviser les données

Une fois la qualité des beams reconnue pour résoudre les conflits de superposition, le problème qui subsistait était un problème pratique : les beams ne peuvent traiter des milliers d'objets en même temps dans la mesure où le procédé est basé sur l'inversion de matrices impliquant tous les points intermédiaires des routes sélectionnées. Traiter l'ensemble des objets en même temps ne serait donc pas aussi facile qu'il paraissait. Deux solutions ont été testées :

- La première consistait à partitionner les données suivant les routes principales du réseau routier. Le défaut de cette solution est que les routes principales ne sont pas traitées de la même manière dans les deux partitions qu'el-

les trop peu de conflits étaient résolus. De plus, les temps de traitement n'étaient pas acceptables, même sur un petit nombre d'objets (chaque fois qu'un objet est déplacé, les autres ré-évaluent leur état pour vérifier que ce déplacement peut être autorisé).

Au même moment, Matthias Bader (8), de l'université de Zurich, travaillait sur les « elastic beams » - un autre type d'algorithmes de déplacement, utilisant une méthode d'optimisation qui diffère des techniques séquentielles utilisées dans AGENT.



Figure 6 : les résultats des beams

les délimitent. Au final, il est alors possible que les limites de partitions soient visibles sur la carte, représentant une coupure, un obstacle au déplacement continu des routes.

- La seconde solution était de détecter tous les conflits, et de définir pour chacun d'entre eux, en fonction de la sinuosité du réseau environnant, l'ensemble des routes qui pourraient être déplacées pour résoudre le conflit. Cet ensemble de routes est appelé le graphe de flexibilité; il représente l'emprise du conflit en termes de déplacements nécessaires pour le résoudre. Ensuite, ces graphes sont agrégés et les beams sont lancées sur les graphes résultants. Les conflits sont détectés à l'aide des mesures du prototype AGENT. C'est cette seconde solution qui a été retenue.

La flexibilité d'une route est une mesure qui qualifie sa sinuosité. Plus la route a de virages, plus elle est flexible. Concernant les déplacements, plus une route est flexible, plus vite les déplacements se trouvent amortis.

Les résultats cartographiques sont très satisfaisants même dans le cas des centres villes où les routes sont très courtes et droites, et même dans le cas des échangeurs où les voies d'accès sont souvent entièrement masquées par les autoroutes au départ (voir figure 7).

#### 3 Les résultats

Les temps de traitement automatique sur un Pentium III atteignent 30 heures par carte. Les corrections interactives ne sont nécessaires que dans les zones denses et le long des autoroutes.

Notons que cette technique est également utilisée pour traiter les rivières qui sont écartées des routes lorsque leur axe se trouve masqué par le symbole de la route. Ce traitement intervient en réalité avant la généralisation du rou-

tier, mais reste du domaine de la généralisation et ne peut être rangé dans la catégorie des pré-traitements de mise en cohérence des données.

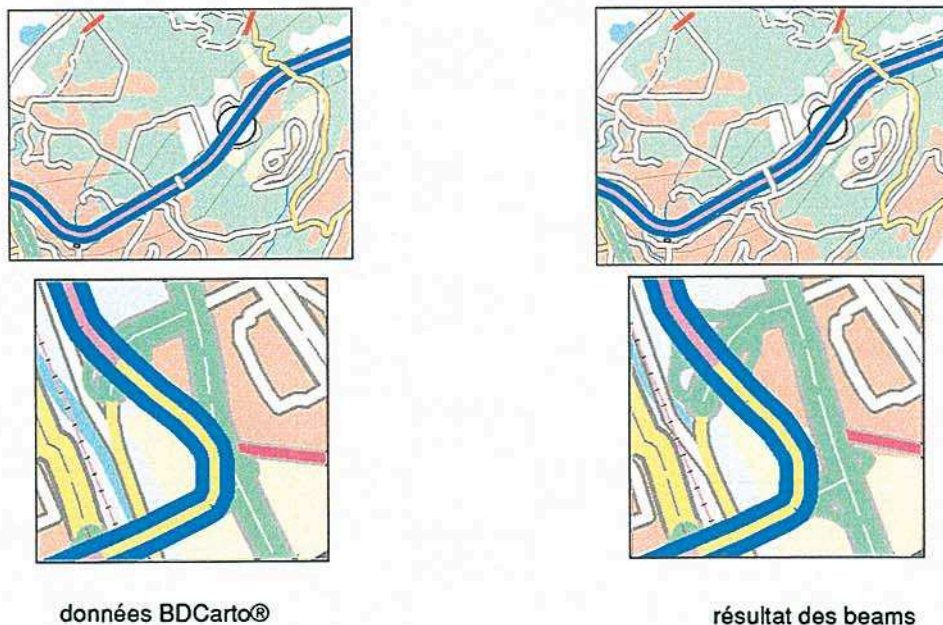


Figure 7 : les beams

### 3.7 Garantir la cohérence des données

#### 1 La diffusion et les objets gelés

Pour préserver le partage de géométrie entre les objets, le projet a demandé à Laser-Scan de développer une fonction de diffusion permettant de propager le déplacement des routes aux objets connectés mais également, aux objets qui partagent la même géométrie. Cette fonctionnalité a été ajoutée aux outils AGENT et aux beams.

Pour limiter les effets de la généralisation, nous avons demandé à Laser-Scan d'introduire la possibilité de geler certains objets, ce qui assure dorénavant que les routes ne seront pas déplacées dans un lac ou n'intersecteront pas la limite côtière.

#### 2 Les ponctuels isolés

Nous avons également utilisé l'outil de diffusion pour assurer la cohérence entre le réseau routier et les ponctuels isolés en ajoutant un lien sous forme de tronçon fictif entre le ponctuel et la route. C'est une méthode simpliste mais

les résultats sont acceptables et cela permet généralement de préserver la position relative entre la route et l'objet ponctuel.

## 4 METTRE À JOUR LA CARTE

### 4.1 Les règles de mise à jour

Le processus de mise à jour (9) qui a été développé sous LAMPS2 est composé de deux modules principaux :

- un moteur de mise à jour générique, capable de gérer tous les types de données qui appelle un ensemble de fonctions dans un ordre déterminé,

- une base de règles qui permet de choisir le comportement à adopter lorsqu'une opération particulière de mise à jour intervient sur un objet. Ce module dépend de l'application utilisateur et il est très orienté cartographie. La figure 8 fournit un exemple simplifié qui présente en ensemble de règles applicables aux objets d'un réseau routier.

Objet modifié (RESEAU ROUTIER)	type de modification	Traitement
<b>TOUT TYPE D'OBJET</b>	Création	Calcul du symbole de l'objet
<b>OBJET PONCTUEL</b>	Modification sémantique	Calcul du symbole si l'attribut TYPE a changé Calcul de l'orientation si c'est un débarcadère ou une barrière d'accès
	Création	Calcul de l'orientation si c'est un débarcadère ou une barrière d'accès
<b>OBJET LINEAIRE</b>	Modification sémantique	Calcul du symbole si un des attributs suivants a changé : nombre de voies, nature... Calcul du symbole des bretelles d'accès connectées.
	Modification géométrique	Calcul de l'orientation des nœuds extrémités si débarcadère ou une barrière d'accès
	Création	Calcul de l'orientation des nœuds extrémités si débarcadère ou une barrière d'accès

Figure 8 : règles de mise à jour

## 4.2 Les étapes de la mise à jour

### 1 Le filtrage

La base de données cartographique est une image déformée de la base de référence et une partie des modifications subies par la base source ne sont pas significatives pour la carte. Dans cette étape, les évolutions de la BDCarto® sont analysées : les mises à jour qui ne sont pas cartographiquement significatives sont ignorées tandis que les autres sont importées dans la base carte dans des classes d'objets spécifiques. Les critères mis en œuvre dans cette étape de filtrage sont par exemple : les modifications légères de la géométrie (en deçà d'un seuil donné) ou les mises à jour qui concernent des attributs n'intervenant pas dans la représentation. A ce stade du processus de mise à jour, de 30 à 50% des mises à jour géométriques peuvent être éliminées.

### 2 La mise à jour automatique

Cette étape constitue le noyau du processus et consiste à intégrer et propager les mises à jour dans la base de données cartographiques. Les modifications sont traitées dans un ordre déterminé afin d'éviter les états incohérents (par exemple les destructions sont intégrées avant toute autre chose). Pour chaque mise à jour et à chaque étape, les objets impliqués et les méthodes nécessaires au maintien de la cohérence sont identifiés. Les règles de mise à jour sont appelées automatiquement par LAMPS2, elles permettent d'identifier les effets cartographiques de l'opération de mise à jour (changement de symbole, d'orientation...) ainsi que les effets induits sur les objets environnants (numéros de routes, ponts, distance kilométriques...). La propagation d'une opération de mise à jour sur un objet voisin ne peut pas toujours être traitée en direct, lors de la mise à jour de l'objet, dans la mesure où le contexte n'est pas lui-même toujours à jour. Ainsi, pour

certains traitements spécifiques comme par exemple dans le cas des numéros de route où un ensemble de tronçons routiers sont concernés, les répercussions des opérations de mise à jour ne sont pas calculées pendant la phase d'intégration mais à la fin du traitement, lorsque les données directement issues de la base source sont à jour.

Les deux principales caractéristiques du processus sont des suivantes :

- La cohérence de la base de données cartographique est toujours maintenue. Il est important de préciser que la BDCarto® gère les relations de graphes qui explicitent les connexions entre les tronçons de routes et que les données d'évolution peuvent également concerner ces objets relation. On peut donc les utiliser pour assurer la connectivité du réseau routier, on s'assure qu'une connexion correcte avec une partie existante du réseau est possible. Au final, une évolution ne peut être intégrée dans la base de données cartographique que si l'un des objets connectés est déjà intégré dans la base. Cette contrainte est la manière la plus simple de toujours préserver la topologie des réseaux.

- Les méthodes de généralisation sont utilisées pour l'intégration des mises à jour. Afin d'éviter les déformations locales ou les erreurs topologiques, il est impératif de tenir compte du déplacement initial opéré entre la BDCarto® et la Top100 et de le reproduire sur l'objet mis à jour.

### 3 La résolution des conflits

La base des règles des mises à jour ne peut pas prévoir l'intégralité des effets de propagation, il est donc impossible de tout automatiser. Tous les objets qui devront être contrôlés par un opérateur soit pour une simple vérification, soit pour effectuer la mise à jour, sont marqués et la description du problème leur est attachée.

Le point fort de cette étape interactive est que l'ensemble des règles de mise à jour sont toujours présentes et activées automatiquement par LAMPS2 par le biais des «reflex» méthodes. Il est important de noter que le comportement cartographique des objets mis à jour reste identique, que cette mise à jour soit automatique ou interactive.

#### 4 La vérification de cohérence

Cette étape vérifie que les mises à jour ont été correctement intégrées et propagées (vérifier que toutes les évolutions ont été prises en compte, que la topologie est conforme à l'originale ...). Le mécanisme de versionnement disponible dans LAMPS2 est utilisé pour vérifier qu'aucune mise à jour malencontreuse n'a été effectuée (destruction d'un objet qui existe encore dans la BDCarto®, modification intempestive d'un identifiant...), qui pourrait compromettre la prochaine mise à jour.

### 4.3 Généralisation et mise à jour

Actuellement, le projet valide le processus de généralisation sur une carte exemple avec l'aide d'un opérateur qui s'occupe des reprises interactives. L'étape suivante est la validation du processus de mise à jour qui se fera sur les données généralisées en intégrant des données d'évolution. Le processus de mise à jour n'est pas encore complet à ce jour car sa composante «généralisation» n'a pas encore été branchée.

Jusqu'à présent, il a été décidé de stocker la géométrie généralisée et la géométrie initiale dans la base de données cartographique. Ainsi, lorsqu'un objet est mis à jour, il peut être déplacé comme l'ont été ses voisins lors de l'étape de généralisation. Ce qui signifie que le moteur de mise à jour a été conçu pour travailler dans un environnement généralisé. Reste à mettre en œuvre, maintenant que les résultats de la généralisation indépendante et contextuelle sont satisfaisants, la généralisation lorsqu'elle est nécessaire sur les objets nouvellement créés.

Grâce aux outils de détection de conflits, les objets qui ont besoin d'être généralisés seront facilement identifiables. Ensuite, selon la nature du conflit (empâtement ou superposition) les méthodes de résolution AGENT ou beams seront activées sur les objets impliqués dans le conflit.

Par ailleurs, le maintien de la cohérence pendant la mise à jour est un problème épineux (est-ce que la nouvelle portion de route est sensée partager la géométrie de la limite administrative?) et le projet se penche actuellement sur la question.

### 4.4 Les résultats

Le processus de mise à jour automatique consomme 2 heures de traitement sur un Pentium III et les reprises interactives sont estimées à deux jours de travail.

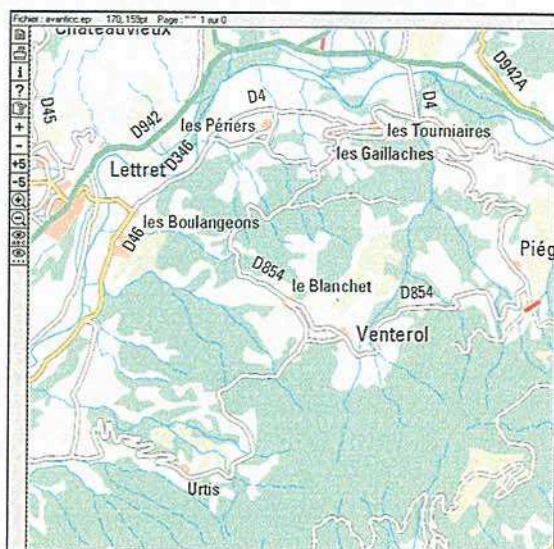


Figure 9 : avant mise à jour

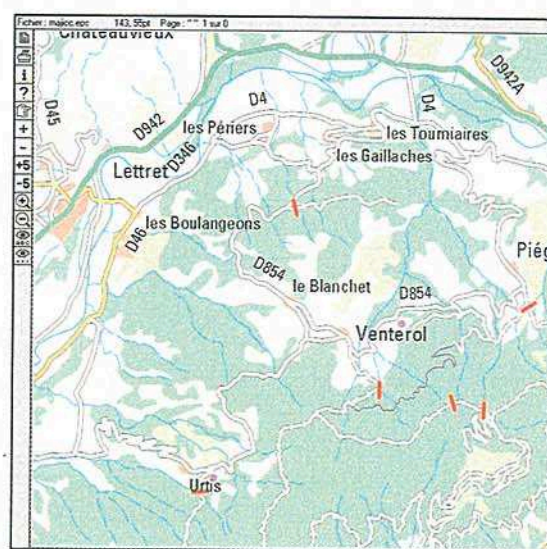


Figure 10 : résultats de la mise à jour (sans généralisation des nouveaux objets)

## CONCLUSION

Le projet Carto2001 entame bientôt sa dernière phase. Les résultats techniques sont plus que satisfaisants et des avancées significatives ont été faites. Beaucoup de problèmes sont apparus, liés au grand nombre de contraintes imposées par l'industrialisation ainsi qu'à la difficulté

que nous avons eu à nous approprier les résultats de la recherche et à les faire coïncider avec nos besoins. Mais à ce stade, tous ces obstacles ont été dépassés et en dépit de quelques inévitables manipulations interactives, l'automatisation de la production de la Top100 verra le jour avant la fin de l'année et ce processus sera utilisé pour produire et mettre à jour les 76 feuilles de la série Top100 de l'IGN.

Le traitement automatique de généralisation a été estimé à 50 heures par carte sur un Pentium III. La partie interactive devrait atteindre une centaine d'heures et être circonscrite à des zones spécifiques et délimitées (échangeurs et zones urbaines). Ainsi, le gain en productivité atteindrait un facteur 10 comparé aux estimations du projet précédent.

Les premiers tests ont montré que le processus de mise à jour allait réduire considérablement les délais et les coûts. Nous espérons une réduction à seulement 10% des coûts actuels de mise à jour.

D'autres produits à l'IGN devraient suivre et profiter des connaissances et de l'expérience du projet Carto2001. Les cartes Départementales (à l'échelle du 1:125 000 et 1:140 000) sont également dérivées de la BDCarto® et utilisent déjà une partie des outils de généralisation et de mise à jour. Un nouveau projet concernant la production de cartes au 1:50 000 dérivées de la BDTopo® (base de données géographiques IGN de résolution 1 mètre), pourrait également ré-utiliser certains outils spécifiques et adapter le processus de généralisation aux bâtiments.

## 6. RÉFÉRENCES

1. F. Lecordix, C. Plazanet, F. Chirié, J.P. Lagrange, T. Banel, Y. Cras, « Placement automatique des écritures d'une carte avec une qualité cartographique », EGIS/MARI 1994, volume 1, p. 22, (1994).
2. M. Barrault, «Le placement cartographique des écritures : résolution d'un problème à forte combinatoire et présentant un grand nombre de contraintes variées», Mémoire de thèse de doctorat en Sciences de l'Information Géographique de l'Université de Marne La Vallée, Marne-la-Vallée, France (1998).
3. S. Lamy, A. Ruas, A., Y. Demazeau, M Jackson, W. Mackaness, R Weibel, «The Application of Agents in Automated Map Generalisation», Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Cartographic Conference (ICA'99), ICA/ACI (Eds.), Ottawa, Canada, p. 1225 (1999).
4. M. Barrault, N. Regnauld, C. Duchêne, K. Haire, C. Baeijs, Y. Demazeau, P. Hardy, W. Mackaness, A. Ruas, R. Weibel, «Integrating Multi-agent, Object-oriented, And Algorithmic Techniques For Improved Automated Map Generalisation», Proc. of the 20<sup>th</sup> International Cartographic Conference, vol.3, Beijing, China, p. 2110 (2001).
5. Ruas, «Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie», Mémoire de thèse de doctorat en Sciences de l'Information Géographique de l'Université de Marne La Vallée, Marne-la-Vallée, France (1999).
6. T. Badard, «Propagation des mises à jour dans les bases de données géographiques multi-représentations par analyse des changements géographiques», Mémoire de thèse de doctorat en Sciences de l'Information Géographique de l'Université de Marne-la-Vallée, Marne-la-Vallée, France (2000).
7. T. Badard, D. Richard, «Using XML for the Exchange of updating information between geographical information systems», Computers, Environment and Urban Systems (CEUS), vol. 25, Elsevier Science Ltd., Oxford, p. 17 (2001).
8. M. Bader, «Energy Minimization Methods for Feature Displacement in Map Generalisation», PhD Thesis, University of Zurich (2001).
9. C. Lemarié, Th. Badard, «Cartographic Database Updating» Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Cartographic Conference (ICC 2001), ICA/ACI (Eds.) Beijing, China, vol. 2 p.1376-1385 (2001).