

Du manuel au numérique pour la cartographie aux moyennes échelles. L'exemple des cartes au 1/100 000 en France

F. Lecordix, Chef de projet Nouvelle Carte de Base
Service des développements,
Institut géographique national(France)
2 avenue Pasteur 94160 Saint-Mandé
Courriel : francois.lecordix@ign.fr

ملخص : ينتج المعهد الوطني للفرنسي للجغرافية منذ سنوات عديدة مجموعة من الخرائط بمقياس 1/100 000 على الكامل فرنسا . أنجزت عبر التاريخ بطرق يدوية ، أرجحت هذه المجموعة بطريقة رقمية بفضل الأبحاث التي أقدم عليها IGN ، ابتداء من سنة 1990 لتألية إنتاج هذه الخرائط بإشتقاق ، من قواعد المعطيات الجغرافية مثل BD Carto® . بعد مرحلة من البحث دامت 10 سنوات ، حول التعميم ، وضع الكتابات و التحديث الآلي ، إنتقل IGN إلى ، مرحلة تصنيع الأبحاث بواسطة المشروع Carto2001 الذي سمح في سنة 2004 ، بالحصول على سلسلة إنتاج من Top100 الجديدة بمقياس 1/100 000 . بعد المرور بمصلحة الإنتاج ، سمحت هذه السلسلة بإنتاج قاعدة خرائطية لكل فرنسا بمقياس 1/100 000 و إستخراج 76 ورقة من هذه المجموعة الجديدة التي تم إنجازها قبل نهاية سنة 2009 . من الآن فصاعداً ، يتم تحديث هذه القاعدة الخرائطية و أوراقها بألية إنتشار التحديث المنجز في BD Carto® . يسمح هذا النص بمتابعة تطور بدء هذه السلسلة الجديدة من الإنتاج الرقمي التي تحول جذرياً تتابع أطوار الإنتاج الخرائطي المستعمل إلى ذلك الحين .

الكلمات الأساسية : الخرائطية ، التعميم ، البحث ، التنمية ، الإنتاج ، مقياس متوسط .

Résumé : L'institut géographique national (France) produit depuis de nombreuses années une série de cartes au 1/100 000 sur l'ensemble de la France. Historiquement réalisée par des procédés manuels, cette série a pu basculer en mode numérique grâce aux recherches que l'IGN a lancé, à partir des années 1990, pour automatiser la production de ces cartes par dérivation, des bases de données géographiques, comme la BD Carto® de l'IGN. Après une phase de recherche de 10 ans sur la généralisation, le placement des écritures et la mise à jour automatique, l'IGN est passé à une phase d'industrialisation des recherches par l'intermédiaire du projet Carto2001 qui a permis, en 2004, d'obtenir une chaîne de production de la nouvelle Top100 au 1/100 000. Après un passage de relais au service de production, cette chaîne a permis de produire une base cartographique France entière au 1/100 000 et d'extraire les 76 feuilles de cette nouvelle série qui ont toutes été réalisées avant fin 2009.

Désormais, cette base cartographique et ces feuilles sont mises à jour par un mécanisme de propagation des mises à jour effectuées dans la BD Carto®. Ce texte permet de suivre l'évolution de l'arrivée de cette nouvelle chaîne de production numérique qui transforme radicalement les processus de production cartographique utilisés jusqu'alors.

Mots-clefs : cartographie, généralisation, recherche, développement, production, moyenne échelle.

Abstract : The French national mapping agency (IGN) has produced for many years maps series at 1/100 000 scale on whole France. Historically produced by manual solution, these series could change to a numeric approach thanks to the research that IGN launched in nineties to automate the production of these maps by derivation of geographic database, as BD Carto® (IGN). After a research period of 10 years on automatic generalisation, label placement and updating, IGN carried on research industrialization with the project Carto2001 which provide, in 2004, a flow line for new Top100 at 1/100 000 scale. After a handover to production service, this flow line allowed to produce a seamless cartographic database on France at 1/100 000 scale and to extract 76 sheets of these new series. All maps had been produced before the end of 2009. This cartographic database and these maps are updated henceforth by a solution to propagate updating done in BD Carto®. This text allows examining the process to introduce this new numerical flow line which changes radically the processes used before for mapping production.

Key words : cartography, generalisation, research, development, production, medium scale.

1. Historique du 1/100 000 de l'Institut géographique national (France)

A la sortie de la seconde guerre mondiale, dans le cadre des accords interalliés de 1952, l'IGN doit produire rapidement des cartes militaires OTAN au 1/100 000 sur tout le territoire national. Or, à cette date, l'IGN ne dispose, comme source de référence récente, que d'une faible partie (environ un quart) du territoire national cartographié au 1/20 000 ou 1/50 000, levé à partir de 1922. L'IGN doit donc principalement utiliser la carte d'Etat-Major, à l'échelle du 1/80 000, levée au milieu du XIX^e siècle avec les techniques de l'époque. Entre 1953 et 1968, les 293 feuilles petit format de la série militaire OTAN au 1/100 000 sur la France, appelée M662, sont produites par procédé manuel en redessinant avec généralisation ces fonds créés antérieurement. Le travail demande plus de 1 000 heures par carte petit format 5 (Chappart, 2007). A partir de cette version militaire, l'IGN va produire, entre 1969 et 1975, une première version civile de cette carte au 1/100 000, appelée Série Verte, dont l'intitulation découle de la couleur des couvertures des cartes. Cette série est constituée de 74 cartes, issues de l'assemblage, pour chacune, de 4 cartes du 1/100 000 petit format. Entre 1976 et 1997, chaque feuille de la série connaît plusieurs mises à jour par procédé cartographique traditionnel, à base de reproduction photographique et de dessin, pouvant conduire à des déformations géométriques locales au cours du temps. Une version militaire, appelée M663 remplaçant la M662, est déduite de cette version civile. Une série au 1/250 000, appelée Série Rouge, est aussi produite par généralisation du 1/100 000. Entre 1997 et 1999, l'IGN effectue un nouvel aménagement de cette Série Verte en effectuant un ajout du thème touristique et un aménagement des teintes, sans qu'il n'y ait cependant une quelconque réfection complète du fonds. La nouvelle série est appelée Top100 Série Verte et sa mise à jour passe en processus numérique par scannage initiale des planches d'édition et retouche à l'écran en environ 300 heures par feuille pour intégrer les mises à jour avec le logiciel DRY de la société Lorient. Ce passage au numérique permet de stopper alors les effets de déformations géométriques dues aux jeux des planches support au cours du temps. La même migration au numérique est effectuée pour la carte au 1/250 000, appelée alors Top250. A la fin du XX^e siècle, force est de constater que l'IGN dispose sur la France de deux séries de cartes au 1/100 000 et au 1/250 000 dont les géométries des éléments reposent sur des levés initiaux datant au mieux de 50 ans, au pire de 150 ans et ont du supporter 50 ans de déformations locales des planches mères. Alors que les nouvelles technologies permettent de superposer ces fonds au 1/100 000 ou au 1/250 000 à des levés photogrammétriques récents et donc d'observer les

défauts locaux de ces fonds cartographiques, la Top100 Série Verte et la Top250 apparaissent à la fin du XX^e siècle comme des produits obsolètes qu'il est nécessaire de remplacer par des produits issus d'une réfection complète, mais sans oublier que la charge initiale de réfection au 1/100 000, autour des années 1960, a été de 4 500 heures par carte du format actuel. A cette même période, au milieu des années 90, l'IGN dispose désormais d'une base de données géographiques numériques, la BD Carto®. Couvrant l'ensemble du territoire français, issue en grande partie de la numérisation à partir de 1987 des axes des objets présents sur les cartes au 1/50 000 et mise à jour depuis 1995, la BD Carto® est une base de données géographiques, constituée de différentes couches séparées : réseaux routiers et ferrés, hydrographie, administratif, touristique, occupation du sol, toponymie... Chaque couche est structurée topologiquement et chaque objet de la base dispose de nombreux attributs sémantiques. Conçue en priorité pour les gestionnaires de réseau, elle doit permettre aussi de réfectionner la cartographie aux moyennes échelles du 1/100 000 et du 1/250 000 de l'IGN, sous réserve de résoudre les difficultés techniques pour passer d'une base de données géographiques, avec une géométrie respectant celle du terrain, à une base de données cartographiques, avec une géométrie respectant les contraintes de lisibilité graphique imposées par la légende et l'échelle.

2. Les recherches des années 90 du laboratoire COGIT de l'IGN

En 1992, l'IGN décide de lancer un effort de recherche soutenu pour pouvoir exploiter les bases de données numériques géographiques à des buts cartographiques, en visant à automatiser de plus en plus les processus. Une équipe de recherche est constituée au sein du laboratoire COGIT du Service de la Recherche qui va progressivement compter une douzaine de chercheurs et thésards et qui doit aborder les différents problèmes de la rédaction cartographique la plus automatique possible d'une carte ou d'une base de données cartographiques avec réduction d'échelle. Ces recherches en automatisation se focalisent sur trois domaines représentant un temps encore significatif de réalisation d'une carte numérique : la généralisation, le placement des écritures et la mise à jour. Ces recherches vont aboutir à la fin des années 90 à des progrès significatifs et à des prototypes de logiciels permettant de présenter des résultats concrets sur des données réelles.

2.1 Généralisation automatique

La généralisation est une opération cartographique très délicate, mais indispensable et souvent inconnue. Pour avoir un aperçu de cette problématique, il

suffit de prendre un exemple caractéristique : l'emprise d'un symbole de route. Lorsqu'on représente une route de viabilité moyenne (10 m environ sur le terrain) au 1/25 000, on utilise un symbole linéaire d'une largeur voisine de 0,8 mm sur la carte, soit une emprise sur le terrain de 20 m, c'est-à-dire deux fois plus importante que la réalité terrain. A l'échelle du 1/50 000, pour que l'utilisateur de la carte puisse percevoir correctement le symbole de cette même route, la même largeur de symbole de 0,8 mm va être utilisée mais la route aura alors sur le terrain une emprise de 40 m. Toute l'information située à 20 m de part et d'autre de l'axe de la route (maisons, rivières...) va être cachée par le symbole de la route. Pour rendre ces éléments à nouveau visibles, il faut les décaler par rapport à la route ce qui constitue une action de généralisation. Plus l'échelle diminue, plus cette problématique augmente : avec la même largeur de symbole précédente, au 1/100 000, toute l'information située à 40 m de part et d'autre de l'axe de la route va être cachée par le symbole de la route. D'autre part, au 1/100 000 ou aux échelles plus petites encore comme le 1/250 000, les virages serrés et les routes de montagne vont devenir illisibles du fait de ces largeurs du symbole qui se superposent et des opérations spécifiques vont être nécessaires pour pouvoir rendre lisibles ces virages. Enfin, pour respecter les seuils de lisibilité de l'œil humain, certains objets trop petits, (les maisons individuelles par exemple), doivent être grossis pour être lisibles, conduisant à nouveau à des superpositions d'objets et donc des déplacements ou d'autres opérations pour pouvoir conserver une information pertinente et lisible. Le passage au numérique ne change rien à la problématique de fond de la généralisation cartographique. Dans une base de données cartographiques, les objets doivent respecter un certain nombre de contraintes cartographiques liées à leur représentation. Une contrainte cartographique peut concerner un objet isolément : par exemple pour qu'un bâtiment représenté par une surface soit lisible, sa taille doit être suffisamment grande et son tracé ne doit pas être trop détaillé. Au contraire, certaines contraintes concernant plusieurs objets : par exemple, le symbole d'une route ne doit pas se superposer une maison. Lorsqu'une contrainte cartographique n'est pas respectée, on est en présence d'un conflit cartographique. Les contraintes cartographiques guident le processus de généralisation : le cartographe s'attache à résoudre les conflits cartographiques présentés par les données d'origine avec leur symbolisation, sans en faire apparaître de nouveaux. Toutes les tâches de généralisation ont été effectuées une fois par des dessinateurs cartographes, en procédé traditionnel, sur toutes les cartes au 1/25 000, 1/50 000, 1/100 000 et 1/250 000

lors de leur première création, ce qui représente des centaines de milliers d'heures de travail. En voulant réaliser à partir de la BD Carto® - géométrie initiale voisine du 1/50 000 - une réfection complète des cartes aux moyennes échelles du 1/100 000 et du 1/250 000, et à partir de la BD Topo® - géométrie initiale voisine du 1/10 000 - une réfection complète des cartes aux grandes échelles du 1/25 000 et du 1/50 000, ces problèmes de généralisation resurgissent de façon flagrante. Il est indispensable de les résoudre le plus automatiquement possible pour pouvoir exploiter au mieux les bases de données géographiques pour la cartographie. Pour résoudre ces problèmes de généralisation, le laboratoire COGIT et différentes universités européennes ont entrepris un important travail de recherche, avec réalisation aussi au COGIT de deux prototypes de plateforme de recherche : PlaGe pour expérimenter notamment les algorithmes de généralisation des routes de montagne aux moyennes échelles (Lecordix, 1997) et Stratège pour expérimenter les stratégies de généralisation, en particulier dans le cas des bâtiments et des routes aux grandes échelles (Ruas, 1999). Les premiers résultats significatifs obtenus en recherche ont permis de réaliser le projet européen de recherche AGENT (1997 - 2000) avec l'industriel anglais Laser-Scan - renommé depuis lSpatial - pour aboutir à un prototype préindustriel de généralisation, le prototype AGENT (Lamy, 1999). Les solutions mises en oeuvre, utilisent une technique du domaine de l'intelligence artificielle, appelée système multi-agents. Un agent peut être défini de façon simple comme un objet qui poursuit un but et qui, pour ce faire, a une certaine autonomie d'action et est capable d'interagir avec les autres agents du système. L'approche globale de la généralisation retenue consiste à faire des objets géographiques contenus dans la base de données (routes, rivières, bâtiments, etc.) les entités décisionnelles du système de généralisation. Ainsi, chaque objet géographique devient un agent, dont le but est de satisfaire au mieux l'ensemble de ses contraintes cartographiques. Pour cela chaque agent dispose de capacités :

- d'introspection, pour analyser son état interne et détecter ses conflits cartographiques,
- d'action, pour choisir et s'appliquer des algorithmes de transformation adaptés à ses conflits,
- d'évaluation, pour contrôler l'évolution de son état en fonction des actions réalisées, et revenir en arrière pour essayer autre chose si besoin est,
- de perception de son environnement,
- de communication avec les autres agents.

Grâce à l'ensemble de ses capacités, l'agent va pouvoir trouver une solution de généralisation. Cette stratégie d'agents peut être utilisée pour tous les

objets cartographiques, des bâtiments aux routes, en particulier pour la généralisation des routes de montagne.

2.2 Placement automatique des écritures

Chaque objet de la base de données géographiques dispose d'un attribut indiquant son nom : la désignation de la fonction du bâtiment, le toponyme du hameau ou de la ville, le numéro de la route, le nom de la rivière ou du bois... A partir de cet attribut et de la légende typographique, l'opérateur doit positionner sur la carte l'écriture en respectant de nombreuses règles cartographiques : les écritures ne se chevauchent pas, elles écrasent le moins possible d'informations importantes de la carte, celles des noms de rivières épousent au mieux le tracé du cours d'eau et celles des noms d'habitation sont placées horizontalement, elles se répètent le long des routes ou se placent une seule fois pour les petits objets... Toutes ces règles ont pu être modélisées dans un logiciel de recherche développé par le COGIT sous VMS en ADA, appelé PAT : Placement Automatique des Toponymes (Lecordix, 1994). Il repose sur un processus algorithmique en trois étapes consistant à déterminer d'abord l'objet à nommer avec les caractéristiques de l'écriture associée, puis à trouver sur la carte des positions possibles pour chaque écriture en quantifiant leur qualité intrinsèque et enfin à sélectionner la meilleure position possible en fonction des positions des autres écritures, de telle sorte qu'aucune d'entre elles ne se chevauche (Barrault, 1998).

2.3 Mise à jour automatique

Si la mise à jour d'une carte nécessite moins de temps que sa réalisation initiale, elle est par contre réalisée plusieurs fois au cours de l'existence du produit. Basculant au cours des années 90 des techniques traditionnelles (tracés sur couche et reproductions photographiques) aux techniques numériques en mode raster, la mise à jour des cartes demeure un processus entièrement interactif. Elle constitue un enjeu important de recherche d'automatisation. Ces recherches visent à propager dans la base de données cartographiques issues d'une base de données géographiques, le plus automatiquement possible, les mises à jour qui ont été saisies dans la base géographique, à défaut de pouvoir automatiser complètement le processus de dérivation des bases de données cartographiques à partir d'une base de données géographiques.

A partir de la base de données géographiques à deux dates différentes, les recherches du COGIT se

sont efforcés d'extraire automatiquement des lots d'évolution, soit par des techniques de gestion d'historique, soit par des techniques d'appariement. Ces lots d'évolution permettent d'avoir de façon exhaustive toutes les modifications qui sont intervenues dans la base de données géographiques entre ces deux dates sans se préoccuper de tous les éléments qui n'ont pas changé et qui sont évidemment très majoritaires (Badard, 2000).

Grâce à un système d'identification de tous les éléments de la base, il va alors être possible de propager toutes ces évolutions, de façon fortement automatique, dans la base cartographique, et au final sur la carte. Bien évidemment ces propagations doivent se réaliser en tenant compte de la généralisation cartographique et du placement des écritures. Les recherches des années 90 du laboratoire COGIT permettent de mettre en place des techniques de propagation de ces mises à jour et doivent permettre ainsi de diminuer encore le laps de temps entre deux éditions d'une carte, objectif prioritaire souhaité par tous les utilisateurs cartographiques.

3. De la recherche à l'industrialisation : le projet Carto2001

En 1996, l'IGN décide de lancer un premier projet pour créer des cartes au 1/100 000 à partir de la BD Carto®. En fonction de l'avancée des recherches de l'époque et de leur maturité insuffisante pour une utilisation en production, une approche très interactive est retenue pour réaliser la généralisation et le placement des écritures. Mais les premières estimations pour réaliser une carte complète d'emprise 1,2 m² sont de plus de 2 000 heures par feuille, en travail interactif. Cela représente au moins 2 fois moins de temps qu'en travail manuel d'autrefois, mais nécessite un investissement financier trop important, d'autant plus qu'aucune solution nettement moins onéreuse n'apparaît pour mettre à jour les éditions suivantes de cette carte.

En 1999, les recherches sont désormais suffisamment mûres pour pourvoir expérimenter les processus sur de véritables jeux de données de production. L'IGN souhaitant réaliser la Top250 au 1/250 000 à partir de la BD Carto®, les données routières de cette base sont chargées dans la plateforme de recherche PlaGe. Une généralisation complète des routes de montagne est réalisée par le COGIT, en 2 jours de calcul, sur station VMS, pour résoudre tous les problèmes d'empâtement des virages, en utilisant l'algorithme GALBE (Généralisation Adaptative du Linéaire Basée sur l'Empâtement) (Mustière, 2002).

Cet algorithme (fig. 1) permet de couper les tronçons de route en fonction des conflits d'empâtement des virages et d'appliquer localement, à chaque portion, des algorithmes de généralisation différents : filtrage (algorithme de Douglas-Peucker), lissage (gaussien),

exagération de formes (algorithmes de l'accordéon, de Faille Min, de Faille Max) et suppression de virages (algorithme de Schématisation de virages) (Plazanet, 1996).

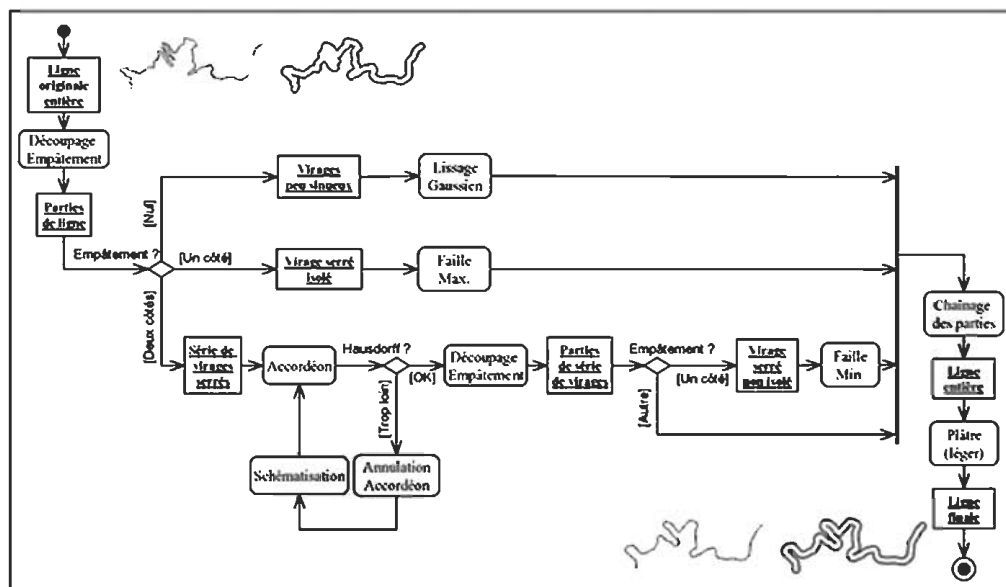


Fig. 1 Principe de l'algorithme GALBE pour généraliser des routes (Mustière, 2002).

La dernière étape de l'algorithme GALBE permet de rabouter les différentes portions de la route, puis d'appliquer une légère simplification (algorithme Plâtre) (Fristch, 1997) pour obtenir la route généralisée (Mustière, 2001) (fig. 2c). La géométrie résultante de toutes les routes de la France entière est

livrée par la COGIT à la production pour réaliser interactivement l'autre opération importante de généralisation du routier, le décalage des objets pour résoudre les problèmes de superposition des symboles des routes.

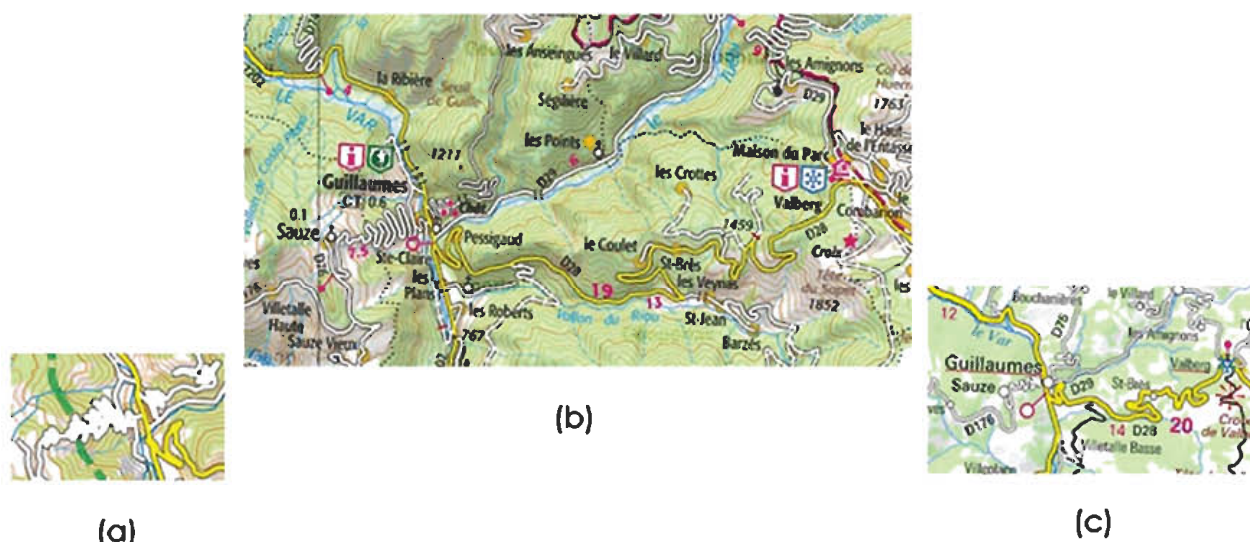


Fig. 2 Résultat de généralisation automatique des routes de montagne de la BD Cartho® au 1:100 000 et au 1:250 000
 A gauche : les données initiales BD Cartho® avec une symbolisation au 1:100 000 présentant des empâtements de virages
 Au centre : la généralisation de ces routes de montagne sur la Top100, au 1:100 000, avec les techniques AGENT
 A droite : la généralisation de ces mêmes routes de montagne sur la Top250, au 1:250 000, avec l'algorithme GALBE.

L'expérience concluante précédente et les perspectives d'arrivée d'une solution industrielle pour la généralisation avec le projet européen AGENT incitent l'IGN à lancer, en juin 1999, le projet "Carto2001, Odyssée de l'espace cartographique" qui a pour but de mettre en place une chaîne de production et de mise à jour à coût minimum d'une nouvelle Top100 entièrement dérivée de la BD Carto®. L'équipe projet est constituée de 4 personnes et va chercher à industrialiser les différentes recherches effectuées au COGIT pour mettre en place une chaîne de production d'une nouvelle Top100. Les résultats du projet européen AGENT sur la généralisation étant fournis dans le SIG LAMPS2 qui s'appuie sur le Système de Gestion de Base de Données Gothic, le projet retient ce SGBD et ce SIG pour pouvoir effectuer le travail cartographique. Ces logiciels permettent de travailler sur une BD France entière, au lieu du feuillet à feuillet comme autrefois, de ne traiter qu'une fois les zones en recouvrement de plusieurs feuilles des éditions papier et de travailler en multi-utilisateurs sur cette base de données unique. Outre ces nouveaux principes de fabrication pour la cartographie, le projet va apporter plusieurs nouveautés dans le produit : nouvelle facture graphique avec conception d'une nouvelle légende, nouvelle projection (Lambert 93 au lieu du Lambert II étendu), nouveau format des feuilles (96 cm par 121 ou 131 cm) et nouveau découpage avec 76 feuilles au lieu de 74 préalablement. Le projet va surtout apporter trois nouvelles techniques de production, qui correspondent aux thèmes majeurs de recherche du COGIT, à savoir la généralisation et le placement des écritures pour réaliser les premières éditions de la nouvelle carte et la propagation des mises à jour pour réaliser les éditions suivantes.

3.1 Généralisation

Les solutions de généralisation mises en oeuvre en recherche au COGIT sont développées dans le SIG LAMPS2. Les problèmes de généralisation traités par le projet Carto2001 concernent essentiellement les réseaux (routiers, hydrographiques, ferrés) et la conservation de la cohérence entre les différents thèmes de la carte. Les problèmes de généralisation de l'occupation du sol, du relief et des bâtiments ne sont pas abordés. Les solutions utilisées pour la TOP100 s'appuient sur de très nombreux outils développés depuis 10 ans par le COGIT, puis par le projet européen AGENT et enfin par le projet Carto2001. Ces outils peuvent être regroupés en trois domaines :

1. des mesures pour détecter les conflits de généralisation : empâtement de virages, superposition de symboles, carrefours en sifflet ;
2. des algorithmes de généralisation permettant la simplification des formes, la caricature des virages (exagération ou suppression), le déplacement des éléments (les routes ou les églises), le maintien de la cohérence entre thèmes (par exemple, les limites administratives suivent le déplacement des routes lors de la généralisation) ;
3. des stratégies de résolution des conflits : technique Agent du projet européen (fig. 2b) et notion de graphe de flexibilité mise en oeuvre par le projet pour associer des conflits de superposition d'objets afin de les traiter simultanément avec un algorithme spécifique, les Beams (Bader, 2001) (fig. 3). Ces stratégies sont le coeur de l'automatisation de la généralisation (Jahard, 2003), (Lecordix, 2007). Pour terminer la généralisation et obtenir un produit fini, des reprises interactives sont à faire avec les outils du SIG LAMPS2.

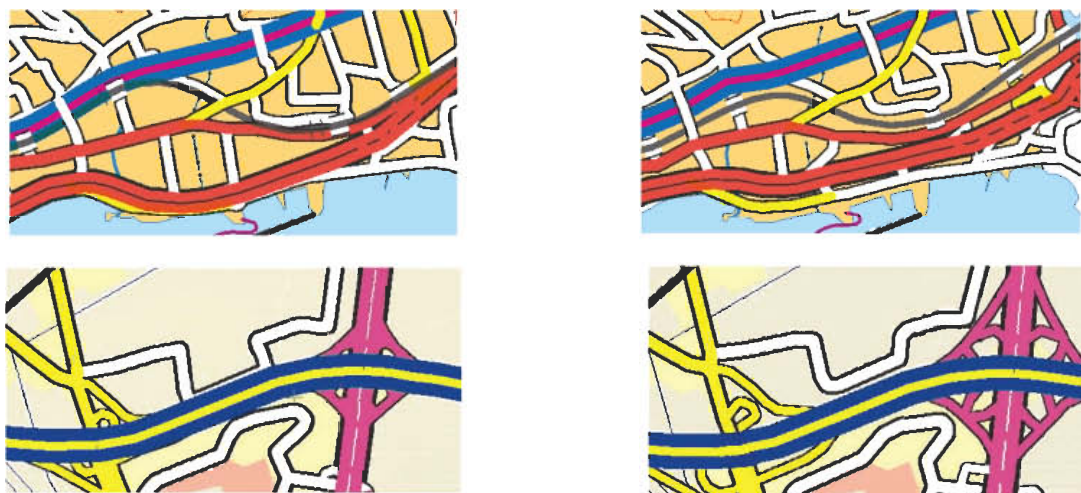


Fig. 3 Généralisation automatique des réseaux de la BD Carto au 1:100 000

A gauche : les données initiales BD Carto® avec une symbolisation au 1:100 000 présentant des chevauchements
A droite : la généralisation de ces routes sur la Top100, au 1:100 000, avec la stratégie des graphes de flexibilité et l'algorithme des Beams.

3.2 Placement des écritures

Repartant du logiciel de recherche PAT du COGIT, le projet Carto2001 développe le logiciel WinPAT en ADA sous Windows. Il est utilisable sur n'importe quel PC sous Windows et, à partir des informations issues d'une BD sous forme de fichiers texte, il permet de placer :

1. des écritures horizontales : noms de lieux habités, points cotés, points du relief, noms de petits lacs, blasons et chiffres de population associés à des écritures ;
2. des écritures droites orientées : numéros de routes et de GR, cotes de courbes de niveau, kilométrages ;
3. des écritures sur courbes : noms de cours d'eau et de routes.

WinPat ne permet pas de traiter les noms à disposition surfacique tels que les forêts, les massifs ou les plateaux. Il est utilisable sur des données à toute échelle : 1/25 000, 1/50 000, 1/100 000, 1/250 000 et 1/1 000 000, ... Il permet de prendre en compte de nombreux critères cartographiques, notamment le fond de carte. Il est paramétrable par l'utilisateur en fonction de ses propres préférences cartographiques. Les résultats de WinPat sont fournis sous forme de fichiers texte importables dans différents SIG, notamment LAMPS2 pour la chaîne de la Top100 (Fig. 4). Comme pour la généralisation, des reprises interactives sont à faire avec les outils du SIG LAMPS2.



Fig. 4 Généralisation et placement des écritures A gauche : La BDCarto® représentée au 1:100 000 avec des problèmes d'empatement de virages, de superpositions de routes et de toponymes à placer
A droite : La Top100 après généralisation et le placement automatique des écritures.

3.3 Mise à jour automatique

La mise à jour automatique est un autre domaine très novateur pour la production cartographique. Elle nécessite la mise en place préalable de deux mécanismes spécifiques dès la constitution de la base initiale :

- Les empreintes numériques des objets. Cette technique vise à associer un identifiant unique à chaque objet de la base géographique, cet identifiant ayant la caractéristique d'être calculée à partir des attributs et de la géométrie de l'objet. Les empreintes numériques sont appliquées aux données BD Carto® archivées.
- Le calcul de données différentielles. Industrialisée à partir des recherches du laboratoire COGIT, cette

technique permet de ne récupérer que les données modifiées de la BD archivée entre deux dates, en utilisant des algorithmes d'appariement. Cette solution permet de s'affranchir des multiples modifications intermédiaires sur les objets et de ne conserver que les modifications réelles entre les deux dates considérées.

Avec ces empreintes numériques et ces données différentielles issues de la BD Carto®, le projet Carto2001 a développé la technique pour mettre à jour la base carte dans LAMPS2 en conservant une cohérence topologique complète de la base résultante et en prenant en compte les règles cartographiques de la TOP100 et les résultats cartographiques de généralisation obtenus lors de la première édition de la carte (fig. 5).

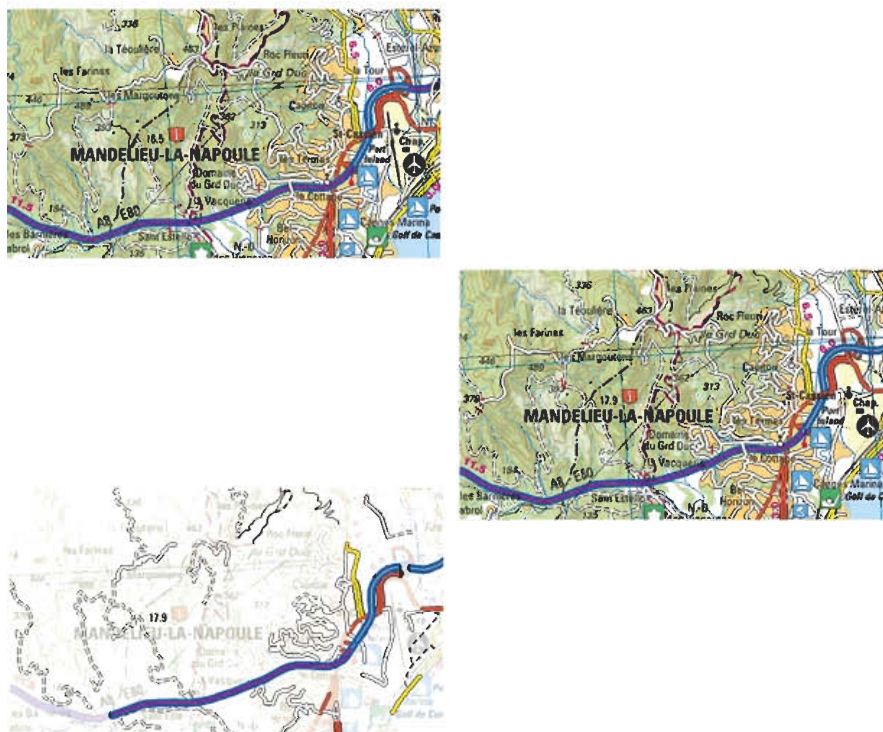


Fig. 5 Propagation automatique des mises à jour

À gauche en haut: la Top100 au 1:100 000 obtenue par généralisation et placement des écritures
 À gauche en bas: les données différentielles issues de la BDCarto® à propager dans l'édition initiale
 (en fond, les données initiales en raster)
 À droite: la Top100 après propagation automatique des mises à jour.

Lorsque l'automatisation atteint ses limites, le processus confie le travail à l'opérateur cartographe en désignant de façon spécifique les objets sur

lesquels celui-ci aura des reprises interactives éventuelles à faire (Lemarié, 2001). Le schéma de dérivation initiale et de mise à jour est fourni en Figure 6.

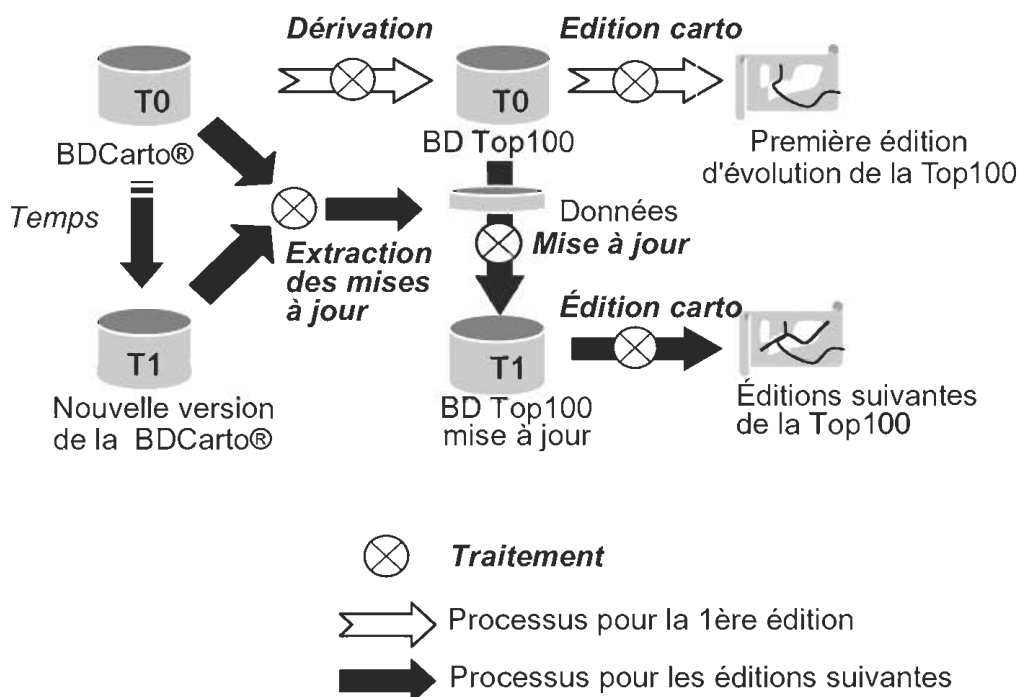


Fig. 6 Schéma de dérivation initiale et de mise à jour de la BDTop100 à partir de la BD Carto®.

4. De l'industrialisation à la production

À l'issue du projet Carto2001, en 2004, un premier prototype de carte complète Top100 est réalisé à partir des données BD Carto® sur la feuille de Nice, permettant d'avoir une estimation des charges de réalisation de la série complète. La généralisation automatique est faite sur la feuille complète en 50 heures de calcul et les reprises interactives nécessaires pour finaliser le travail sont effectuées sur toute la carte en 100 heures. La charge estimée pour le même travail uniquement en interactif est de 1200 heures. De même, le placement automatique est fait sur la feuille complète en 12 heures de calcul. Les compléments de placement (écritures absentes de la BD Carto® et écritures non placées ou mal placées par le logiciel) sont estimés à 160 heures. La charge pour le même travail de placement de toutes les écritures, uniquement en interactif, est estimée à 800 heures. La réalisation de la première édition de chaque carte, avec la généralisation, le placement des écritures et les autres tâches de rédaction cartographique, en tenant compte des recouvrements entre feuilles permettant de diminuer la charge totale, est estimée à 6 mois (entre 600 et 700 heures), résultat à comparer aux plus de 2 000 heures prévues pour réaliser le même travail de réfection complète des cartes en tout interactif.

Pour la mise à jour, sans pouvoir réaliser une mise à jour réelle, le projet estime que chaque feuille pourra être mise à jour en moins de 100 heures par feuille en exploitant les différentiels issus de tous les thèmes mis à jour dans la BD Carto®, à comparer avec les 300 heures nécessaires pour mettre à jour l'ancienne Top100 Série Verte en utilisant un processus raster. À la fin de l'année 2004, le projet Carto2001 transmet le processus de production et sa maintenance au service de production qui, après une phase de prise en main de ces nouveaux outils qui changent radicalement les techniques de production utilisées jusqu'alors, va progressivement maîtriser le système et produire, avec une dizaine d'opérateurs travaillant en parallèle sur la base de données cartographiques France entière, les 76 feuilles de la série. À fin novembre 2009, la base cartographique France entière au 1/100 000, dérivée de la BD Carto®, et les 76 feuilles papier sont terminées en première édition avec une charge moyenne de production d'environ 660 heures par carte. Une version militaire de cette carte, appelée M664, est aussi proposée. En 2010, le processus de propagation automatique des mises à jour à partir des lots différentiels BD Carto® est en phase d'expérimentation réelle et conduit au résultat, sur les premières feuilles, à une mise à jour en

120 heures de travail par feuille, ce qui laisse augurer que l'objectif des moins de 100 heures par feuille pour la mise à jour est atteignable pour les prochaines éditions. La mise en vente, à partir de 2008, de ce nouveau 1/100 000 avec une facture rajeunie, obtient un franc succès auprès du grand public et permet de remonter significativement les chiffres de vente de cette série qui étaient en diminution constante depuis des années.

5. Conclusion

Après d'importants efforts de recherche et développement en cartographie automatique sur la généralisation, le placement des écritures et la mise à jour, l'IGN dispose désormais d'un processus de production automatisé pour produire et mettre à jour les bases de données cartographiques à moyenne échelle de la Top100 au 1/100 000. Ce processus permet de diminuer significativement les coûts de production de la première édition et des éditions suivantes. Il s'appuie sur de nouveaux systèmes permettant de travailler dans une base cartographique France entière qui est déduite d'une base géographique initiale. Grâce à la propagation automatique des mises à jour d'une base géographique à une base cartographique, l'IGN limite les mises à jour à une seule collecte effectuée dans la base géographique. Fort de cette expérience, l'IGN a décidé de poursuivre l'évolution de ses processus de production pour la cartographie au 1/25 000, et éventuellement au 1/50 000, à partir de son Référentiel Grande Echelle (RGE). Une approche très similaire à celle mise en oeuvre par le projet Carto2001, avec constitution d'une base cartographique France entière dérivée du Référentiel Grande Echelle, est en cours de finalisation de mise en place par le projet Nouvelle Carte de Base qui a testé en 2010 les 2 premiers prototypes de carte au 1/25 000 et au 1/50 000. Le passage en production de cette nouvelle chaîne de réfection et de révision pour les cartes topographiques au 1/25 000 constituera le défi des prochains mois.

Références Bibliographiques

- Bader, M., (2001) "Energy minimization methods for feature displacement in map generalisation", PhD Thesis, Department of Geography, University of Zurich.
- Badard, M., (2000) "Propagation des mises à jour dans les bases de données géographiques multi-représentations par analyse des changements géographiques", Thèse de doctorat en Sciences de l'Information Géographique, université de Marne la Vallée, France.

- Barrault, M., (1998) "Le placement cartographique des écritures : résolution d'un problème à forte combinatoire et présentant un grand nombre de contraintes variés", Thèse de doctorat en Sciences de l'Information Géographique, université de Marne la Vallée, France.
- Chappart, G. et Reynard, N., (2007) "La carte topographique française de 1887 à nos jours", *Le Monde des Cartes*, Bulletin 191 du Comité Français de Cartographie, Mars, p. 53-67.
- Fritsch, E., (1997) "Représentation de la géométrie et des contraintes cartographiques pour la généralisation du linéaire routier", Thèse de doctorat en Sciences de l'Information Géographique, université de Marne la Vallée, France.
- Jahard, Y., Lemarié, C., and Lecordix, F., (2003) "The Implementation of New Technology to Automate Map Generalisation and Incremental Updating Processes", in : Keller, C. P., (ed), proceedings of the 21st International Conference Cartographic, Durban, South Africa, August 10-16, pp 1449-1459.
- Lecordix, F. and Lemarié, C., (2007) "Managing Generalisation Updates in IGN Map Production", in Mackanness, W., A, Ruas, A., Sarjakoski, T., (eds): *Generalisation of geographic information: Cartographic modelling and applications* - 285-300.
- Lecordix, F., Plazanet, C. and Lagrange, J.P., (1997) "A Platform for research in Generalization: Application to Caricature", *Geoinformatica*, 1(2), 161-182.
- Lecordix, F., Plazanet, C., Chirié, F., Lagrange, J. P., Banel, T. et Cras, Y., (1994) "Placement automatique des écritures d'une carte avec une qualité cartographique" in: Harts, J. J., (eds), *EGIS/MARI '94: Fifth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems*, Paris, France March 29 - April 1, 1, 22-32.
- Lemarié, C., and Badard, T., (1999) "Cartographic Database Updating", proceedings, Mapping the 21st Century : the 20th International Cartographic Conference, Beijing, China, August 6-10, 2, 1376-1385.
- Lamy, S., Ruas, A., Demazeau, Y., Jackson, M., Mackanness, W. A. and Weibel, R., (1999) "The Application of Agents in Automated Map generalisation", in : Keller, C. P., (ed), proceedings, 19th International Conference Cartographic and 11th General Assembly of ICA, Ottawa, Canada, August 14-2, 2, 1225-1234.
- Mustière, S. et Lecordix, F., (2002) "La généralisation du linéaire routier: des algorithmes et leur enchaînement", dans : Ruas A. (ed), *Généralisation et représentation multiple*, Paris, Hermès Sciences Publications, 241- 255.
- Mustière, S., (2001), "Apprentissage supervisé pour la généralisation cartographique", Thèse de doctorat, université Pierre et Marie Curie, Paris.
- Ruas, A., (1999), "Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie", Thèse de doctorat, Université de marne la Vallée, Paris.
- 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 en Sciences de l'Information Géographique, université de Marne la Vallée, France.