

Une chaîne informatique pour la production intensive de cartes thématiques

par Bernard PASQUIER
Ingénieur Géographe Institut Géographique National

Résumé :

En 1976, l'Institut Géographique National a créé un département de géothématique avec pour mission l'automatisation de la production des cartes thématiques.

Les premiers travaux ont porté sur les cartes statistiques. Dans ce cas, les données thématiques présentent l'avantage d'être disponibles sous forme de fichier informatique.

La chaîne de production développée à cette occasion est basée sur des notions d'images numériques. Aussi bien les répertoires géographiques que les sorties graphiques utilisent le mode balayage (raster mode).

La numérisation des limites administratives a été faite en utilisant un appareil de saisie à balayage (scanner) et un logiciel spécialement développé. De cette façon, ont pu être numérisées successivement la région Rhône-Alpes en 1977 (2900 communes) et la France entière (plus de 36 000 communes) en 1978.

Ces numérisations ont permis la production de nombreuses cartes dont un recueil régional en 1978 et d'une série thématique nationale en 1979. Les périphériques de sorties utilisés permettent d'insoler des films par balayage. Les cartes zonales sont obtenues par reconstitution de trames, la couleur peut s'obtenir par synthèse tri-chromique. D'autres cartes sont constituées par des symboles de taille variable.

La technologie ainsi développée voit actuellement son utilisation s'étendre dans des conditions économiques à de nombreuses cartes thématiques zonales : cartes pédologiques, cartes d'occupation du sol etc... Le recours à une filière numérique a de plus l'avantage de permettre l'obtention facile de statistiques précises sur les thèmes cartographiés ainsi que l'insertion de la carte numérique dans une banque de données géographiques.

C'est en 1976 que la Direction Générale de l'Institut Géographique National prit la décision de créer au sein du Service des Applications Nouvelles un nouveau département qui se consacrerait à la cartographie thématique en utilisant les moyens modernes d'automatisation, c'est-à-dire les techniques numériques.

Constituée au départ de quelques informaticiens et d'un cartographe expérimenté, cette unité commença alors une réflexion appuyée sur l'analyse critique de l'ensemble des travaux connus dans ce domaine réalisés aussi bien en France qu'à l'étranger.

L'objectif était la définition et la mise en place d'une chaîne de production cartographique à partir de données thématiques, et notamment statistiques. Les caractéristiques recherchées étaient, dans le cadre d'une cartographie "d'édition" :

- la rapidité de la réalisation des cartes,
- la qualité graphique reconnue ne devant le céder en rien aux meilleures productions traditionnelles.
- l'obtention de ces cartes à un coût relativement modéré.

La limitation initiale de l'objectif à la seule cartographie des données statistiques rendait l'ambition raisonnable. En effet, les statistiques sont presque systématiquement disponibles sous forme de fichiers informatiques. Elles s'appliquent à des unités géographiques qui sont presque toujours les unités administratives. Une seule numérisation des limites administratives permet donc la production d'un grand nombre de cartes.

Cette limitation permet de procéder à une approche globale des problèmes posés qui eût été beaucoup plus difficilement envisageable par la cartographie thématique des sous-ensembles.

Dans cette optique, c'est l'ensemble des opérations de fabrication d'une carte statistique, depuis la décision jusqu'à l'impression qui a été pris en compte. Cet examen a permis d'éliminer rapidement bon nombre de systèmes cartographiques qui aboutissaient à des résultats graphiques soit de piètre définition soit nécessitant pour leur reproduction l'appel à des procédés photo-mécaniques lourds.

Ont été écartés également les systèmes de cartographie numérique fondés sur le concept de vecteur, du moins dans le cadre d'une cartographie destinée à la publication. En effet, si dans le cas de la cartographie statistique particulièrement, la lourdeur de la saisie du fond des limites administratives peut être tolérée, il n'en est pas de même pour les sorties graphiques qui pour être de qualité nécessitent l'emploi de traceurs électromécaniques à plat nécessairement lents quand il s'agit de dépouiller en gravure partiellement ou totalement les polygones représentant les zones traitées au moyen de hachures plus ou moins serrées.

C'est en utilisant le concept d'image graphique numérique ou si l'on préfère de fichiers maillés que les matériels et logiciels les mieux adaptés aux spécifications générales ont été définis correctement. En effet, dès 1977, de premières expériences confirmaient le bien fondé de ce choix, à savoir que cette approche permettait de concilier bien mieux que les autres la qualité graphique, la rapidité de mise en œuvre et la modération des coûts.

Rappelons que la méthode consiste à décomposer la surface cartographique traitée en une grande matrice dont chacun des éléments correspond à une petite maille carrée ou rectangulaire sur la carte. Suivant l'étape à laquelle on se trouve dans la chaîne de traitement va être associée à chacune de ces mailles une information qui peut être un chiffre binaire, un numéro de zone, un code thématique, une couleur...

Les matériels de base utilisés pour mettre en œuvre cette option sont très différents de ceux utilisés en cartographie par vecteurs. A l'époque de ces débuts l'expérience de l'IGN en cartographie numérique portait presque exclusivement sur les applications topographiques pour lesquelles le format "vecteur" est évidemment le mieux adapté.

Le seul équipement dont nous disposions était un scanner de saisie qui avait été acquis pour assurer la numérisation automatique des courbes de niveau. Il est inutile de préciser qu'une fois obtenue l'image maillée des courbes de niveau, l'objet principal des programmes d'exploitation est la conversion en mode vecteur... Le scanner nous a permis de disposer d'un système de saisie en mode maillé. Comme équipement de sortie graphique en mode maillé c'est un restituteur sur film à tambour utilisé en imagerie spatiale qui a été emprunté.

Avec ces équipements et le développement sur ordinateur central de programmes spécifiques, une première chaîne a été mise sur pied en 1978. Les premières exploitations ont démontré l'adaptation particulière des sorties graphiques aux impératifs des cartes thématiques par la grande aptitude au traitement des surfaces. La couleur peut être maîtrisée par exemple en contrôlant les valeurs imprimantes dans chacune des trois couleurs primaires. Par programme,

il devient enfin possible de compléter par des poncifs les possibilités de symbolisation de surface.

La filière de production ainsi définie a rapidement atteint un stade opérationnel. Il faut remarquer qu'elle ne comportait aucun poste de traitement interactif ce qui avait pour effet de limiter son emploi au traitement de données sûres : principalement les cartes statistiques construites à partir d'un répertoire numérique des limites administratives parfaitement contrôlé et de statistiques en provenance directe sur bande magnétique des instituts spécialisés.

Une particularité intéressante de la méthode était la possibilité obtenue après de nombreux essais infructueux d'utiliser directement comme typon d'impression les films produits automatiquement.

L'expérience de production, à ce stade de développement technique, porte principalement sur un atlas statistique sur la région Rhône-Alpes comportant une cinquantaine de cartes et une série d'une dizaine de cartes traitant au niveau national du problème du logement dans les communes péri-urbaines. Les quantités d'unités administratives traitées étaient respectivement de 2 900 et de 4 000 communes.

Grâce à l'expérience acquise dans la conduite des numérisations automatiques, il fut alors décidé de procéder à la numérisation complète des quelques 36 000 communes de France. Ce travail a été mené de bout en bout à partir d'une seule analyse sur scanner d'une image des limites concernées sans utilisation de moyen de traitement interactif. Le pas d'analyse correspond à des carrés de 100 m de côté sur le terrain (soit 0,1 mm à l'échelle du 1/1 M) et a conduit à l'obtention d'une image numérique de plus de 10 000 lignes comprenant chacune plus de 10 000 points. Les premières exploitations de cette numérisation ont pu être faites dès le début de 1979.

Dans le même temps, il apparaissait à l'évidence que la capacité potentielle de production du procédé ne pouvait être développée de façon convenable en se limitant à l'emploi des équipements de ces débuts. D'une part, les spécifications techniques de ces matériels (format, résolution, vitesse de travail, etc...) étaient insuffisantes, d'autre part ils étaient d'ores et déjà consacrés à d'autres applications leur assurant un plan de charge convenable. Enfin, pour atteindre un niveau de confiance nécessaire à une production intensive, il ne fallait plus continuer à travailler "en aveugle" d'un bout à l'autre de la chaîne. Cette lacune devait être comblée par un poste de visualisation et de correction interactive.

L'élargissement des spécifications physiques du système de saisie comme de celui de restitution, le besoin d'une console de visualisation interactive ainsi que la recherche d'une grande souplesse d'emploi conduisit à l'implantation et la mise en œuvre début 1979 du système cartographique SEMIO.

Ce système est basé sur des mini-ordinateurs de 64 K octets de mémoire centrale, équipés de disques de grande capacité (120 M octets) et d'unités de bandes magnétiques. Ces ordinateurs sont reliés à des périphériques spécialisés dans le traitement graphique qui sont :

— l'appareil de saisie qui est un scanner à tam-

bour analysant les documents par réflexion suivant trois canaux (rouge, bleu et vert). Cette analyse multispectrale autorise la reconnaissance sur un document d'une dizaine de couleurs distinctes préalablement calibrées. Le pas d'analyse ainsi que la taille du point d'analyse sont variables,

- la console interactive équipée d'un écran cathodique de visualisation en couleur, d'une tablette avec crayon magnétique ainsi que d'un clavier de commande de fonctions. Pilotée par un mini-ordinateur, elle permet le contrôle et la correction de toute image numérique stockée sur disque,

- le système de restitution équipé d'un tambour permet l'insolation de films pouvant aller jusqu'au format de 100 × 180 cm. La source lumineuse est un laser argon et le pas d'insolation ainsi que la taille du point élémentaire sont ajustables et peuvent atteindre une valeur minimale de 15 u. La vitesse de rotation du tambour est de 1 000 tours par minute.

- La disponibilité d'un tel équipement a permis de démarrer une production réelle répondant à des demandes internes à l'IGN ou à des commandes extérieures. Cette production effective constitue le meilleur test d'efficacité d'une méthode et un bon point d'appui pour les développements de programmes.

Les travaux réalisés depuis avril 1979 environ se répartissent en 4 catégories.

a) Cartographie statistique

Plusieurs dizaines de cartes de ce type ont été réalisées. Toutes sont des exploitations de la numérisation des communes de France. Certaines représentent la France entière au niveau de la commune, d'autres utilisent des répertoires dérivés de ce répertoire général : communes d'une région, France par contours (regroupement de communes), ou selon tout autre découpage administratif s'appuyant sur les délimitations communales. Un exemple de ce type de réalisation est fourni par le recueil thématique national, œuvre conjointe avec l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques. Le premier fascicule de cet ouvrage doit être diffusé en octobre 1981. Il comprend une vingtaine de cartes toutes imprimées en polychromie. Le thème statistique est représenté soit au niveau communal, soit au niveau cantonal.

b) Cartographie des thèmes physiques

Il s'agit des cartes faisant l'inventaire d'un phénomène physique (occupation ou usage du sol, pédologie, géologie, etc...), levé sur le terrain ou par photo-interprétation : dans les deux cas, l'on a à traiter une minute d'auteur, tracée et éventuellement coloriée à la main. Cette cartographie plus complexe que la précédente mais dont les principaux éléments sont des éléments de surface convient très bien à la technique employée. Bien entendu, elle nécessite une numérisation particulière à chaque carte. La qualité des résultats rivalise avec les meilleures réalisations traditionnelles. Les coûts et surtout les délais sont également à l'avantage de la filière automatisée, dans un rapport évidemment moindre que pour les cartes statistiques.

Parmi les autres avantages citons :

- la possibilité d'obtenir pour un coût minime des statistiques sur les surfaces occupées par thème, soit globalement, soit par unité administrative,

- l'excellente conservation sous forme numérique des informations cartographiques,

- la production facile et peu onéreuse de toute carte dérivée par changement d'échelle ou par regroupement de thèmes pour des exploitations particulières,

- le croisement facile de deux thèmes différents qui peut être utilisé notamment pour la réalisation de cartes d'évolution.

Dans ce domaine, une des applications les plus marquantes est celle de l'inventaire du littoral. Ce programme cartographique est réalisé suivant une commande d'un organisme interministériel.

Il comprend d'une part une cartographie au 1 : 25 000 décrivant l'usage du sol, d'autre part une cartographie au 1 : 100 000 du statut du sol.

Les cartes au 1 : 25 000 sont des coupures spéciales au nombre de 145 pour couvrir l'ensemble du littoral français. Elles sont établies par photo-interprétation, vérifiées sur le terrain pour la partie terrestre, et à partir de minutes fournies par les services administratifs locaux pour la partie maritime. La légende comprend une quarantaine de caissons. Les éléments thématiques sont traités par cartographie automatique qui aboutit à la production des 4 films de la quadrichromie correspondante. Les films du noir et du cyan sont combinés respectivement à la planimétrie et à l'hydrographie du fond topographique.

Les cartes au 1 : 100 000 au format de 56 × 73 cm sont au nombre de 43. Elles sont dressées entièrement à partir de documents en provenance des services techniques de l'administration. Outre l'impression quadrichromique du thème statut proprement dit comprenant les principales réglementations d'urbanisme, deux transparents monochromes présentent en superposition d'une part une synthèse de l'usage du sol, d'autre part les principales propriétés publiques. Pour cette carte le système SEMIO produit donc 6 films distincts.

Les numérisations au scanner nécessaires à la réalisation de ces deux types de cartes sont complétées par les numérisations des découpages administratifs communaux correspondants. Ce qui permet, par programme, d'établir pour chacune des communes de la zone d'étude les statistiques en surface aussi bien de l'usage que des statuts du sol.

Commencé en 1980, cet inventaire s'est concrétisé par des sorties de cartes imprimées à 1 000 exemplaires chacune dès le mois de juin au rythme de deux cartes au 1 : 25 000 par semaine. A la demande de l'organisme client, il est envisagé d'accélérer la cadence de production pour la porter rapidement à environ 15 feuilles au 1 : 25 000 par mois accompagnées des cartes au 1 : 100 000 correspondantes. Ce niveau de production pourrait être atteint par la mise en place d'un atelier spécialisé dont l'effectif global (photo-interprètes et dessinateurs cartographes) ne dépassera pas 30 personnes.

c) Restitution des images satellites

Signalons pour mémoire l'utilisation du même équipement pour les applications de télédétection spatiale en ce qui concerne les sorties graphiques, soit d'images en composites couleur, soit de résultats d'un traitement de classification.

d) Cartographie de base

Dans ce domaine, qui constitue un secteur d'activité traditionnel de l'IGN, plusieurs approches ont été expérimentées.

— A l'échelle du 1 : 25 000, les cartes nécessitent des révisions relativement fréquentes. Cette opération de mise à jour touche particulièrement la planche de végétation qui représente par une symbolisation de surface en six classes (bois de résineux, bois de feuillus, bois mixte, broussailles, vergers, vignes). L'idée consiste à numériser, à l'occasion d'une révision, les contours de ces zones de végétation.

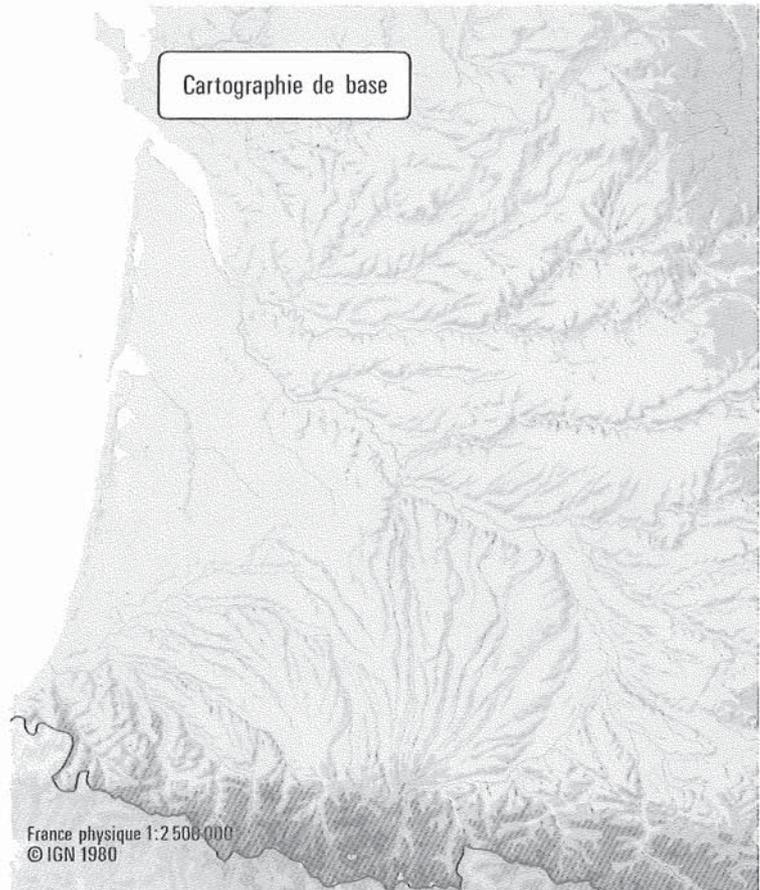
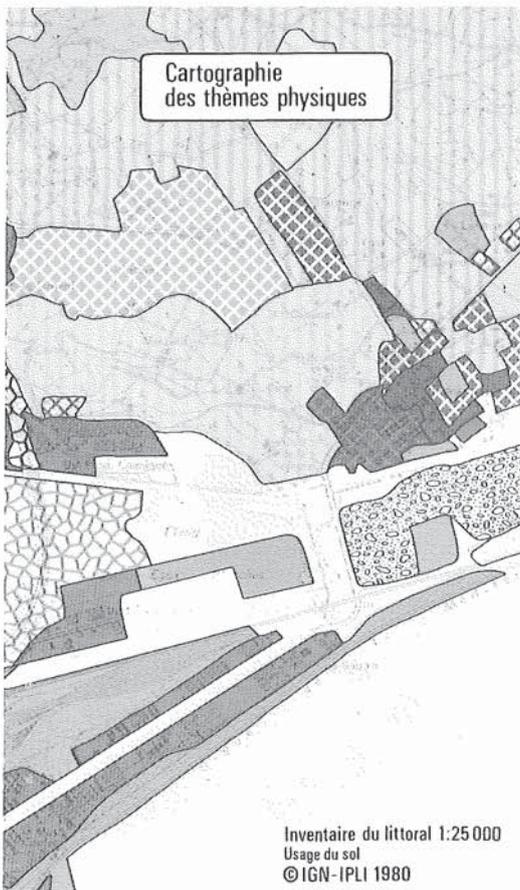
Ceci permet de réaliser pour la publication immédiate une planche de vert conforme aux spécifications en vigueur (ce qui n'est souvent pas le cas de la publication antérieure)*. Cette numérisation est également exploitée comme élément de conservation en vue de l'édition suivante. Celle-ci ne nécessitera que la numérisation des modifications ; la restitution de l'image numérique modifiée permettra d'obtenir une nouvelle planche de vert dont les éléments non modifiés n'auront subi aucune altération (ce qui n'est pas possible par des méthodes photomécaniques traditionnelles).

— La numérisation des planches d'estompage a également été effectuée en distinguant un nombre réduit (une dizaine au plus) de niveaux de gris. Les résultats obtenus sont satisfaisants. On dispose de la même souplesse d'exploitation que pour les planches de teintes. De plus il est possible de combiner cet estompage à la numérisation des teintes pour les restituer en une seule tri-chromie.

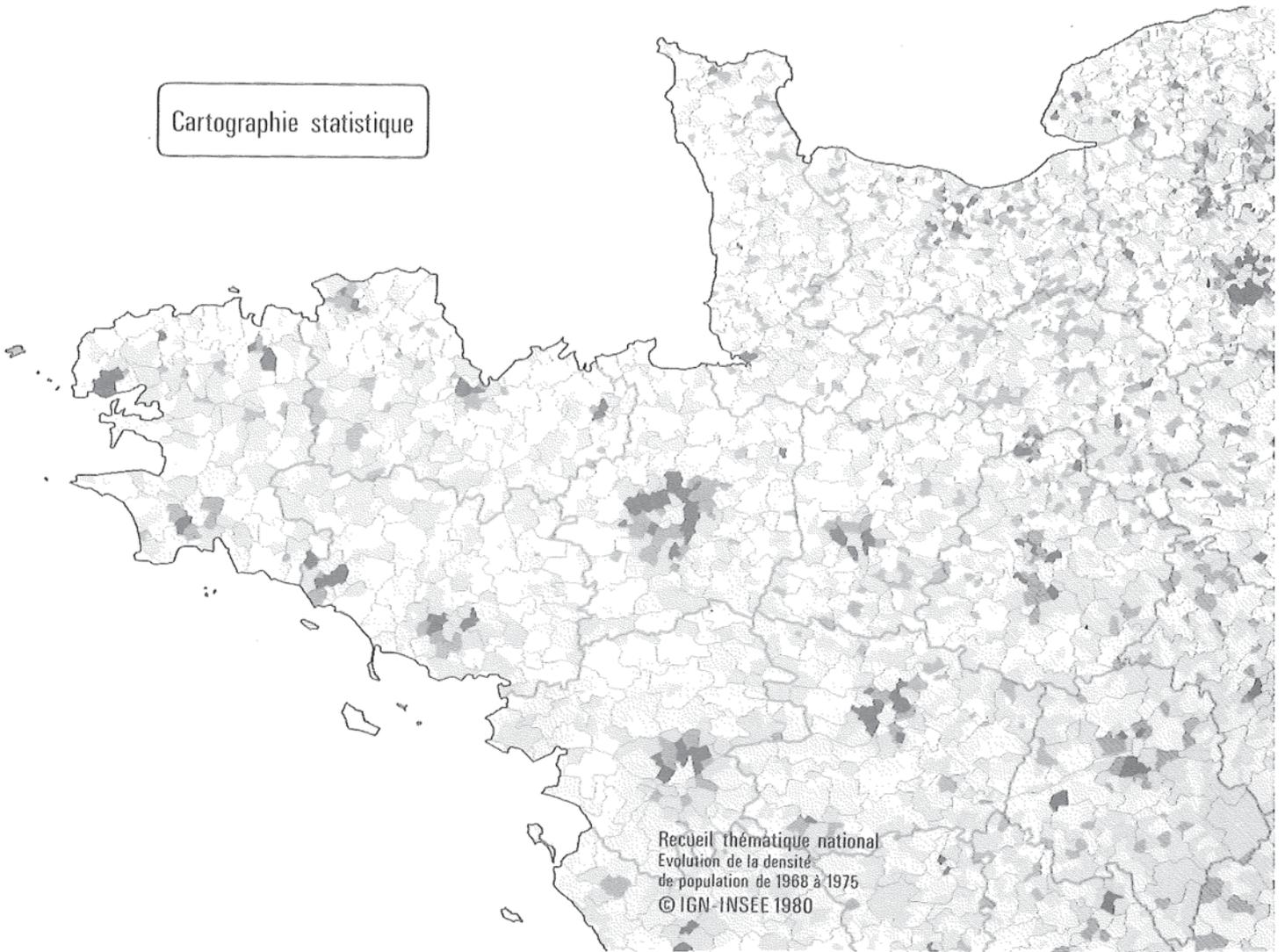
Comme on peut le constater, l'ensemble des applications abordées se rapporte principalement aux traitements graphiques des surfaces. Le traitement graphique des éléments linéaires et ponctuels n'est cependant pas exclu totalement. Par exemple, dans le cadre de la cartographie statistique, les différentes limites administratives sont traitées en fonction de leur hiérarchie en jouant à la fois sur leur épaisseur (en nombre de points d'image) et sur leur valeur de trame.

Malgré ces réalisations on ne peut s'empêcher de constater que la manipulation de l'information linéaire en mode maillé présente une lourdeur certaine par rapport au mode vecteur. Sans approfondir ici le problème, disons que cette constatation devrait orienter les développements futurs de la cartographie automatique vers des systèmes "hybrides" capables de prendre en compte parallèlement des informations sous les deux formes (maillée et vecteur).

* Après assemblage "numérique" contrôlé à la console de visualisation, la planche de vert de l'édition au 1 : 50 000 est également restituée.



Cartographie statistique



Recueil thématique national
Evolution de la densité
de population de 1968 à 1975
© IGN-INSEE 1980

**SOLDE MIGRATOIRE
1968-1975**

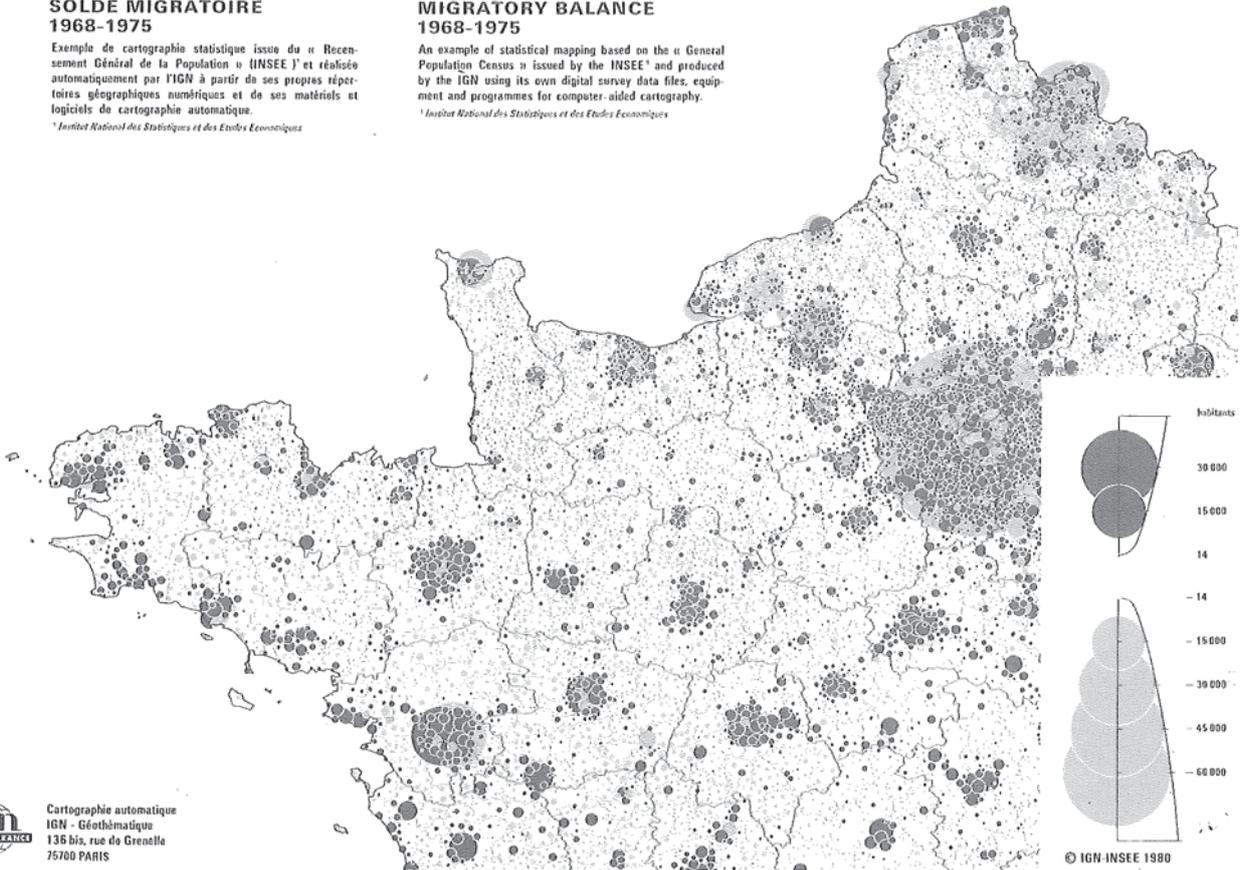
Exemple de cartographie statistique issue du « Recensement Général de la Population » (INSEE) et réalisée automatiquement par l'IGN à partir de ses propres répertoires géographiques numériques et de ses matériels et logiciels de cartographie automatique.

* Institut National des Statistiques et des Etudes Economiques

**MIGRATORY BALANCE
1968-1975**

An example of statistical mapping based on the « General Population Census » issued by the INSEE¹ and produced by the IGN using its own digital survey data files, equipment and programmes for computer-aided cartography.

¹ Institut National des Statistiques et des Etudes Economiques



Cartographie automatique
IGN - Géomatique
136 bis, rue de Grenelle
75700 PARIS

© IGN-INSEE 1980