TECHNIQUES CARTOGRAPHIQUES

L'automatisation de la cartographie

par Anne Ruas

Articles reproduits :

« Construction des cartes générales à petite échelle à l'aide d'un système expert », par Jean-Claude Müller (Bulletin du CFC, n° 109-110, sept-déc. 1986).

« Généralisation assistée par ordinateur », par Jean-Philippe Grelot (Bulletin du CFC, n° 111, mars 1987).

De nombreux articles publiés dans les bulletins du Comité français de cartographie mettent en avant l'informatisation de la cartographie, en particulier l'automatisation de processus. Parmi la multitude d'articles sur le sujet, nous en avons retenu trois et, pour des questions de place, **nous n'en publierons ci-dessous que deux.**

Le premier article « Hypergraphes et structures de données cartographiques : le système HBDS », écrit en 1978 et disponible dans le complément du *Bulletin du CFC* n° 78, est un article essentiel dans l'histoire de la géomatique française. Le professeur François Bouillé, de l'Université Pierre et Marie Curie, y présente un modèle de structure de données, basé sur les notions de graphes et d'ensembles, particulièrement adéquat à la cartographie. Ce modèle révolutionnaire, à l'époque, sera utilisé par de nombreux géomaticiens et en particulier par tous les ingénieurs de l'IGN pendant plus de vingt ans pour la modélisation des bases de données de l'IGN.

Le deuxième article « Construction des cartes générales à petite échelle à l'aide d'un système expert », publié dans le numéro 109/110 du *Bulletin du CFC* en 1986 par le professeur Jean-Claude Müller, présente les premiers essais en formalisation de règles de cartographie dans le but de réaliser un système expert programmé en Pascal, où les règles proviennent de connaissances textuelles enrichies par des expérimentations. Le professeur Müller étudiera ensuite pendant une dizaine d'année la généralisation de données topographiques (dont la célèbre généralisation d'un ensemble de lacs). La conclusion de cet article est savoureuse quand on connaît la complexité de la tâche, bien identifiée dans cet article précurseur : « Ces tests démontrent deux faits fondamentaux : 1/ le système expert est capable d'apprendre et 2/ l'utilisation de la matrice des coefficients reflétant l'expérience préalable du cartographe améliore la capacité d'apprendre du système. Comme il a été mentionné, le système ne couvre qu'une partie du processus de réalisation cartographique. Une part importante de l'expertise cartographique – la capacité de traduire les besoins du client en termes cartographiques – n'est pas résolue. Il nous manque la capacité de dialogue, au travers d'un langage naturel, entre le système et le client potentiel. Il nous manque également, en aval, une connexion intelligente entre les spécifications cartographiques et les programmes de construction automatique des cartes. Ces deux domaines sont en cours d'exploitation ». Nous travaillons encore aujourd'hui, en 2009, sur les deux points

Le troisième article « Généralisation assistée par ordinateur », publié dans le numéro 111 du *Bulletin du CFC* en 1987 par l'ingénieur géographe Jean-Philippe Grelot, présente une synthèse extrêmement claire sur les enjeux et les difficultés de l'automatisation de la généralisation. Après une définition de la généralisation (sélection, schématisation, harmonisation - généralisation conceptuelle et structurelle), l'auteur présente les différents opérateurs de généralisation. Il finit par une mise en perspective très visionnaire dont voici un extrait : « Ces opérateurs font immanquablement songer à constituer une base de données unique dont seraient dérivées des cartes généralisées, les réductions d'échelle et les accentuations thématiques s'effectuant quasiment en temps réel. Ceci n'est guère envisageable, du moins en l'état actuel de nos connaissances […] Dès lors, on envisage plutôt la base de données 'indépendante de l'échelle' sous forme d'un système général composé de plusieurs bases, chaque base correspondant à un niveau de généralisation et à un sujet particulier ».

CONSTRUCTION DES CARTES GÉNÉRALES A PETITE ÉCHELLE A L'AIDE D'UN SYSTEME EXPERT

J.-C. MULLER. University of Alberta

RÉSUMÉ

La compétence cartographique s'acquiert généralement par l'éducation formelle et l'expérience professionnelle. Une telle compétence peut aussi s'acquérir par la lecture des manuels qui offrent un guide général pour la confection des cartes et leur reproduction. Le but de cette recherche est de développer un ensemble de règles dérivées des textes et revues professionnels aussi bien que de l'expérience personnelle, qui puissent répondre à la question suivante : étant donné un ensemble de besoins et de conditions pour la représentation cartographique d'une ou plusieurs variables géographiques, quelles sont les spécifications cartographiques qui aboutiront à une solution graphique optimale. L'ensemble des règles de jugement, une matrice dont les coefficients relient les besoins aux spécifications, constitue la base des connaissances d'un système expert programmé en langage Pascal. Une seconde matrice contient les règles inférées selon le processus d'acquisition des connaissances du système. Les nouvelles règles de jugement se développent par suite d'une série d'exercices cartographiques où les règles préalables sont testées et modifiées de manière itérative jusqu'à ce que le système expert soit capable d'offrir une solution cartographique satisfaisante. Le système, confronté à l'expertise humaine, permet de résoudre les problèmes cartographiques d'échelle, de projection, d'imposition, de variables visuelles, de couleur et de généralisation pour un domaine de cas théoriquement illimité.

ABSTRACT - Expert - system - aided design for small - scale general maps.

Cartographic expertise is usually acquired through formal cartographic instruction and professional experience. Such expertise has been summarized in various textbooks which provide guidance in map design, cimpilation and reproduction. The purpose of this research is to develop a set of rules derived from the available literature as well as from personal experience which could be used to answer the following question : given a particular set of needs and requirements for a cartographic representation of some geographic variable(s), what are the map specifications which would most optimally lead to a cartographic solution. The set of judgement rules, a matrix of coefficients relating needs to specifications, was implemented into an expert system programmed in Pascal. These rules were further modified by entering a series of cartographic exercices into the system, applying the current judgement rules, suggesting a cartographic solution and correcting interatively the rules until cartographically satisfactory solutions were provided by the system.

REMERCIEMENTS : J'exprime ma gratitude à Roderick Johnson et Luca Vanzella pour leur collaboration et inspiration dans cette recherche.

Introduction

La compétence cartographique s'acquiert normalement à l'aide des textes et par l'expérience. Les manuels professionnels jouent le rôle de guide dans la compilation des données, la confection et la reproduction des cartes. Le but de ce projet est de développer un système expert appliqué à la confection des cartes à petite échelle. Ce système doit permettre à l'utilisateur de détailler le type de carte désiré et d'obtenir les spécifications cartographiques nécessaires pour la confection d'une telle carte. Le problème du langage naturel qui permettrait de traduire les questions d'un utilisateur non-averti en termes techniques compréhensibles par le système n'est pas envisagé. Par exemple, il n'existe pas de mécanisme qui permette de traduire les souhaits généraux d'un utilisateur, tels que « Je désire une carte de l'utilisation du sol le long du couloir Lyon-Marseille ». En terme de conditions cartographiques requises telles que « Les surfaces doivent être présentées correctement, les données cartographiques sont de type catégorique, le but de la carte est analytique, l'échelle adoptée sera 1:200.000 etc. » Notre système, au contraire, se limitera au processus de définition des spécifications cartographiques pour la représentation d'un ou plusieurs phénomènes, étant donné un ensemble d'attributs cartographiques désirables.

Une carte thématique à petite échelle contient deux types de données : 1) les données thématiques et 2) les données de base. Les données thématiques sont déterminées par le propos de la carte, tel que la représentation des températures au Canada ou l'évolution de la circulation routière en France pendant les dix dernières années. D'autre part, les données de base « constituent la charpente structurale et le contexte spatial des données thématiques », (Fitzsimmons, 1985). Elles permettent l'appréhension de l'information thématique à partir des données de référence telles que les frontières administratives, l'hydrographie, les centres de population, ou l'information périphérique permettant de déchiffrer le contenu thématique (titre, légende, échelle, sources documentaires etc.). La nature et la quantité des données de base qu'il faudra inclure dépendent de contingences - la nature du thème, le niveau de sophistication du public, le style de la publication etc. De nombreux paramètres détermineront le choix et la position d'une ligne frontière ou d'un titre. Par conséquent, la standardisation et la mise en œuvre de règles générales concernant l'utilisation et la cartographie des données de base apparaissent impossibles et même indésirables.

Au contraire, il existe une tradition bien établie concernant la cartographie des données thématiques. La publication récente de nombreux manuels cartographiques démontre une maturité dans les connaissances au point qu'il est maintenant possible de définir un corps de méthodes bien établi pour la représentation graphique efficace des données thématiques. Cependant, il n'existe pas de règle universellement acceptée. Les opinions sur l'efficacité d'une solution graphique peuvent varier d'un auteur à un autre, quoiqu'il existe un certain niveau de congruence sur les solutions à ne pas adopter. Ce mélange de connaissances où l'expérience pro-

fessionnelle, le jugement individuel et un certain degré d'incertitude caractérisent, en se combinant, la réflexion cartographique, est difficile à simuler à l'aide des instruments informatiques traditionnels. Les systèmes experts, par contre, sont particulièrement aptes à représenter une réflexion non-numérique et non-déterministe et peuvent donc être utilisés pour représenter, manipuler et modifier les connaissances cartographiques. Etant donné un ensemble de localisations et d'attributs spatiaux à représenter, ils peuvent aider à identifier les spécificités de la carte qui conduiront à une solution graphique optimale.

Décisions et processus dans la confection des cartes

Parmi les décisions à prendre et le processus à suivre dans la confection des cartes, on peut distinguer trois étapes : 1) identification d'une solution graphique optimale, 2) traitement des données géographiques, et 3) compilation et dessin.

Le scénario habituellement suivi par le cartographe est de demander à l'utilisateur quels sont ses besoins précis afin d'obtenir l'information nécessaire qui permette de trouver des solutions pertinentes. Par exemple, lors de la première étape, on posera les questions suivantes :

— quelle est la fonction de la carte ?
— quel est le niveau de précision graphique désiré ?
— quel est le type des données (point, ligne, surface) ?
— quel est la mesure des données (nominale, ordinale, rapport) ?
— combien de variables doivent être représentées ?
— quelles sont les dimensions de l'espace à couvrir ? etc.

Pour pouvoir identifier la nature du traitement des données, on aura besoin de savoir :

— si une partition en classes est désirable ;
— si une partition de l'espace est désirable ;
— si une généralisation des localisations est nécessaire ;
— si une généralisation des attributs est nécessaire ;
— quelles priorités donner aux localisations et aux attributs, etc.

Finalement, la compilation et le dessin concernent les données de base qui, comme nous l'avons vu, sont difficiles à formaliser.

Ces questions signalent le départ d'un processus de réalisation cartographique. Les grandes étapes à suivre sont donc :

1. Le cartographe pose des questions à l'utilisateur afin d'inférer ses besoins cartographiques spécifiques.
2. Le cartographe utilise cette information pour déterminer les spécifications cartographiques qui conduiront à une solution graphique optimale.
3. Les spécifications cartographiques sont utilisées pour produire la carte.

Les connaissances utilisées au travers de ces étapes varieront selon les cartographes. Des conceptions graphiques différentes entraîneront des relations différentes entre les besoins de l'utilisateur et les spécifications cartographiques. Un modèle formel de connaissance cartographique contribuerait à standardiser le processus de réalisation des cartes. L'un des buts de cette recherche est d'explorer les moyens de représenter cette connaissance à l'aide d'un système expert.

Nous proposerons une série de quarante questions classifiées selon neuf catégories qui nous paraissent nécessaires pour la détermination d'une représentation graphique utile. Les spécifications graphiques qui font partie de la solution sont elles-mêmes subdivisées en cinquante éléments classifiés en dix catégories. Le tableau 1 montre les catégories utilisées. On notera que les questions et les solutions correspondantes reflètent un domaine de connaissance cartographique qui reste ouvert. On notera également que les solutions graphiques pour chacune des catégories ne sont pas toujours mutuellement exclusives. Par exemple, les solutions dans les catégories Généralisation, Surface de Projection et Nombre de Cartes sont mutuellement exclusives, alors que les solutions pour la catégorie Variable Visuelle ne le sont pas.

Ces catégories et leurs relations ne constituent qu'une hypothèse de connaissance qui variera selon le jugement et l'expérience du cartographe.

Les systèmes experts

La configuration habituelle d'un système expert inclue les éléments suivants : 1) une base de connaissances, 2) une méthode de raisonnement et 3) un mécanisme de contrôle. Une base de connaissances peut comporter deux types de connaissances : déclaratif et procédural. La connaissance déclarative inclue des faits, des concepts, et l'information descriptive d'un domaine particulier. On peut comparer ce type au manuel de l'apprenti. La connaissance procédurale constitue le « comment », c'est-à-dire les procédures, les stratégies ou les solutions heuristiques utilisées pour résoudre un problème ou atteindre un but particulier.

La connaissance peut être représentée de différentes manières. Une représentation déclarative structure la connaissance qui peut être inspectée. On peut réaliser cette structure par l'intermédiaire d'un ensemble de règles ou par une division hiérarchique du domaine de connaissances. Une représentation procédurale se caractérise par une suite d'actions qui seront exécutées. Un programme Fortran est un exemple de ce dernier type.

La méthode de raisonnement est le mécanisme utilisé pour agir sur la base de connaissances afin d'aboutir à une solution. On peut utiliser des méthodes telles que « chaînage avant » ou « chaînage arrière ». Une méthode populaire est de coder un ensemble de règles qui définit les relations du domaine. Dans le chaînage avant, les aspects d'un problème particulier peuvent être utilisés pour déclencher des règles qui agiront sur la connaissance ou qui déclencheront d'autres règles. Dans le chaînage arrière, une règle est choisie comme but à établir et devra être satisfaite par l'application spécifique de l'ensemble des règles.

La partie « contrôle » du système administre la base des connaissances et contrôle le comportement du système de raisonnement.

Configuration du système expert cartographique

Nous proposons une connaissance déclarative hiérarchisée à deux niveaux pour les questions aussi bien que pour les spécifications. Le niveau supérieur organise la

connaissance selon des classes ou des catégories. Le niveau inférieur définit les éléments pertinents ou concepts pour chacune des catégories.

Les questions constituent un ensemble de neuf catégories « entrées » contenant quarante éléments « entrées ». Les spécifications constituent un ensemble de dix catégories « sorties » contenant cinquante éléments « sorties » (Tableau 1). Une valeur variant entre cinq (5) et moins cinq (−5) définit la relation entre les éléments des catégories entrées et sorties. Ceci constitue une matrice 40 × 50 appelée matrice de base des connaissances. Une valeur cinq (5) signifie une relation impérative entre deux éléments entrée et sortie. Une valeur moins cinq (−5) signifie une relation exclusive. Par exemple, les données ponctuelles ne peuvent être représentées par un symbole linéaire. Une valeur zéro constitue une déclaration d'incertitude ou d'ignorance. Une valeur entre 0 et 5 exprime une relation positive, tandis qu'une valeur entre 0 et −5 exprime une absence de relation.

L'architecture du système expert cartographique est basée sur le schéma général proposé par Naylor (1984). Cette architecture est à propos multiple et utilise les relations définies dans la matrice de base des connaissances. On suit le processus suivant : un exemple de carte, exprimé en terme de besoins cartographiques à satisfaire (entrées correspondant aux questions) est soumis au système. Le système tente de répondre à ces besoins en définissant une série de spécifications graphiques apparemment souhaitables, utilisant pour ce faire une stratégie algorithmique. La décision du système est acceptée ou rejetée par l'utilisateur. Si la décision est acceptée, la matrice des règles du système est jugée correcte. Si la décision est rejetée, l'utilisateur suggère une autre décision et le système ajuste les coefficients de la matrice des règles afin d'améliorer sa performance. Nous appellerons ce processus : stratégie d'ajustement des règles.

Les coefficients de la matrice des règles représentent l'état des connaissances cartographiques à un moment donné, et peuvent être définis au préalable par le cartographe. La stratégie du système est de combiner ces coefficients arithmétiquement de manière à trouver les solutions graphiques à un problème donné. A chaque problème nouveau le système est soumis à un apprentissage puisque ses décisions seront jugées et éventuellement corrigées. Le système non seulement utilise les règles définies au départ, mais est capable de les modifier et de les améliorer si ses décisions, lors de la résolution de problèmes réels, ne sont pas jugées satisfaisantes.

Notons enfin que le système est capable d'agrandir ou de réduire l'étendue de ses connaissances, proportionnellement au nombre d'entrées et de sorties dans la matrice des règles. Cette qualité permet donc une mise à jour selon les besoins de l'utilisateur et les conditions de production.

ARCHITECTURE DU SYSTÈME

La représentation des connaissances déclaratives en termes de besoins et de spécifications cartographiques requiert l'architecture suivantes :

Eléments « Entrées »

— Ils forment l'ensemble des questions à se poser. Cet ensemble constitue un vecteur V de dimension I.
— Pour une application le vecteur V emmagasine un sous-ensemble des 40 éléments à partir des 9 questions ou catégories d'entrées (Tableau 1). C'est donc un vecteur binaire correspondant à la présence ou l'absence des éléments entrées.

Eléments « Sorties »

— Ils constituent l'ensemble des solutions possibles. Le système essaie de sélectionner les solutions qui correspondent au mieux aux éléments entrées du vecteur V.
— Pour une application cet ensemble est une matrice Q de dimensions J, K. Pour chaque catégorie sortie K, il existe un nombre arbitraire d'éléments sorties J. J est donc une dimension variable dont la valeur particulière dépend de la valeur de K. Par exemple, la catégorie sortie « Type de Représentation » (K = 5) a J = 18 éléments, tandis que la catégorie « Aspect de la Projection » (K = 1) a J = 5 éléments (Tableau 1).

Matrice de Décision

C'est une matrice D de dimensions J,K qui résulte du processus de prise de décisions. Un élément (j,k) représente une valeur de décision pour l'élément sortie j de la catégorie sortie k. Comme pour la matrice Q, J est une dimension variable.

Matrice des Règles

— C'est un matrice R de dimensions I,J,K. Le nombre de rangées I correspond au nombre d'éléments « entrées ». Le nombre de colonnes J correspond au nombre d'éléments « sorties » dans la catégorie sortie K. La hauteur K correspond au nombre de catégories sortie du domaine des solutions.

PROCESSUS DE PRISE DE DÉCISION

Le processus de prise de décision se base sur le calcul de la matrice de décision D de la manière suivante : Etant donné un vecteur entrée V,

$$D(j,k) = D(j,k) + (V(i) \times R(i,j,k))$$

$$i = 1 \text{ à } I,\ j = i \text{ à } J,\ k = 1 \text{ à } K.$$

où R représente la matrice des règles.

Pour chaque catégorie sortie k, l'élément D(j,k) qui possède la valeur la plus élevée est sélectionné pour indexer la matrice Q et devient la décision du système expert. Si plusieurs éléments D(j,k) de la catégorie k ont même valeur maximum, ces éléments sont affichés par le système. Si la décision est correcte, les coefficients de la matrice sont corrects pour la combinaison des variables entrées (vecteur V) envisagées.

STRATÉGIE D'AJUSTEMENT DES RÈGLES

Supposons que l'une des décisions soit incorrecte. Supposons également que la sortie correcte soit l'élément Q(c,k) pour chaque catégorie sortie k. La matrice des règles est ajustée de la manière suivante :

— On soustrait les valeurs du vecteur V à chaque règle (colonne dans la matrice R) qui aboutit à une valeur égale ou plus élevée que D(c,k).
— On additionne les valeurs du vecteur V à la règle (colonne c) de la matrice R.

Donc, les règles qui éloignent la décision de l'expert de la sortie (c,k) sont affaiblies (par soustraction), tandis que

la règle qui doit rapprocher cette décision de cette sortie (c,k) est renforcée (par addition).

Etant donné une catégorie sortie k, on peut assimiler les éléments de la matrice des règles aux coefficients de l'équation d'un plan qui sépare les éléments sorties de cette catégorie dans un espace descriptif à I dimensions. En même temps que le mécanisme d'ajustement modifie les coefficients, la possibilité pour le plan de discriminer les sorties correctes est également modifiée. Les ajustements qui permettent de corriger les erreurs pour un type de carte peuvent aussi affaiblir le pouvoir de discrimination du plan lorsqu'il s'agit de sélectionner les sorties correctes pour d'autres types de cartes. C'est pourquoi un processus itératif est nécessaire pour aboutir à l'équation d'une surface (l'ensemble des règles) qui permet de discriminer les sorties correctes pour tous les cas de cartes envisagés. Notons que ce mécanisme suit une méthode heuristique et non un modèle formel. Par conséquent, le système peut ne pas converger vers un ensemble de coefficients stables qui permettent de décider correctement pour tous les types de cartes.

PARTICULARITÉ DU SYSTÈME

Le système, programmé en langage Pascal, a les particularités suivantes :

1. Mode de Production - Il permet d'utiliser le système sans ajustement des règles. Les variables entrées sont sélectionnées à partir de menus correspondant aux différentes catégories entrées. Zéro, une ou plusieurs entrées peuvent être sélectionnées à partir de l'union de tous les menus. Le système affiche ses décisions pour chaque catégorie sortie.

2. Mode d'Apprentissage Dirigé - Ce mode est similaire au mode de production excepté qu'il permet un ajustement des règles lorsque une décision est incorrecte. L'utilisateur a le choix de retenir l'exemple créé. Les exemples retenus sont emmagasinés dans un fichier appelé base d'exemples.

3. Mode d'Apprentissage Indépendant - Selon ce mode le système distribue de manière aléatoire les exemples emmagasinés dans le fichier base d'exemples et décide les sorties (spécifications cartographiques) à allouer pour chacun des cas. Ces décisions sont comparées aux décisions correctes et les règles sont ajustées si nécessaire. L'utilisateur détermine combien de fois les exemples sont redistribués de manière aléatoire (nombre d'itérations). A la fin de l'exercice le système affiche le nombre d'exemples pour lesquels il est maintenant capable de décider correctement.

4. Entrée des Exemples - Ceci permet l'entrée directe des exemples et leur emmagasinage dans le fichier base d'exemples. Un exemple consiste en une combinaison particulière des variables entrées et des sorties correspondantes qui sont jugées correctes pour chaque catégorie sortie.

5. Fin de Session - A la fin de chaque session, l'utilisateur a le choix de préserver les exemples soumis au système ainsi que la matrice des règles résultant de la session.

6. Mise à Jour - Un programme de mise à jour permet à l'utilisateur de manipuler la matrice des règles. Ceci implique que les étiquettes catégories/éléments et les exemples doivent aussi être modifiés de manière à s'accorder à la matrice des règles. Les fonctions « mise à jour » sont les suivantes :

— manipulation directe des coefficients de la matrice des règles ;
— ré-étiquettage des catégories et des éléments ;
— addition ou soustraction de catégories ou d'éléments ;
— affichage de la matrice des règles, des étiquettes, et des exemples.

Applications et limites

On a soumis au système expert une série de quarante exercices cartographiques correspondant à des cartes thématiques à petite échelle, échantillonnées à partir d'atlas nationaux et provinciaux. Après un nombre suffisant d'itérations, les décisions du système se sont avérées correctes pour toutes les catégories sorties concernant tous les exemples (40) du fichier base d'exemples.

Voici le scénario typique pour l'un de ces exercices : Supposons que l'utilisateur désire une carte du monde représentant les déclinaisons magnétiques. Cette carte, selon le cartographe, répond aux besoins suivants :

Type Dyna	Type donn	Niv précis	Niv lect	Nb compos	Dimens image	Type mesure	Echel carte	Type fonct
(1)	(10,16)	(20)	(23)	(25)	(29)	(31)	(34)	(38)

(se référer au tableau 1 pour la signification des nombres).

Le système expert détermine les spécifications cartographiques suivantes :

Asp proj	Surf prof	Qual proj	Point vue	Type repre	Nb	Chroma	Var visuel	Impos graph	Niv génér
(4)	(2)	(4)	(1)	(13)	(3)	(2)	(2)	(3)	(1)

(se référer au tableau 1 pour la signification des nombres)

On a déjà noté que le système peut afficher plus d'un élément pour chacune des catégories sorties si ces éléments se trouvent avoir un score maximum pour leur catégorie qui est identique. Quoique l'apparition de scores identiques soit souhaitable dans les catégories variable visuelle et imposition graphique lorsque la carte représente plusieurs composantes géographiques (telles que la température et l'utilisation du sol), la manière de « raisonner » du système est basée sur une discrimination — au travers de l'ajustement des règles — et non sur l'amalgame des éléments des catégories sorties. Par conséquent, lors des sessions d'apprentissage, le cartographe ne peut fournir qu'une seule réponse correcte pour chaque catégorie. Cette méthode, effective dans le cas de catégories où les éléments s'excluent réciproquement (telle qu'une projection conforme et équivalente), devient hors de propos pour les catégories où les éléments peuvent être combinés (combinaison d'une symbologie ponctuelle et linéaire, par exemple). En conséquence, le système expert n'est capable de résoudre que des exercices cartographiques relativement simples. La possibilité d'amalgamer aussi bien que de discriminer avec des réponses logiques telles que « OU » et « ET » pour certaines des catégories requiert l'utilisation d'une stratégie de raisonnement multiple.

Afin de mieux apprécier l'efficacité du système, on a effectué deux types d'expériences - l'un utilisant la matrice des coefficients reflétant les règles cartographiques établies au préalable par le cartographe, l'autre utilisant une matrice où tous les coefficients sont identiquement égaux à zéro. Dans ce dernier cas le système ignore

toute règle et ne posséde aucun pouvoir de discrimination. Les quarante exercices du fichier base d'exercices ont été soumis cumulativement par tranche de dix (c'est-à-dire 10, 20, 30 et 40). On a ensuite observé le nombre d'exercices pour lesquels les réponses (spécifications cartographiques) sont correctes pour toutes les catégories sorties.

Dans le « mode de production », le système n'a pu répondre correctement à aucun des exercices soumis, que ce soit pour les tranches 10, 20, 30 ou 40. Ceci est vrai aussi bien pour la matrice des coefficients zéros que pour la matrice des coefficients déterminés par le cartographe. Ce dernier résultat est surprenant puisque les coefficients de la matrice règles et les combinaisons entrées et sorties des exercices soumis ont été déterminés par le même cartographe. Il démontre la difficulté d'établir à priori des règles cartographiques qui soient congruentes.

Dans le « mode apprentissage indépendant » on a compté le nombre d'itérations nécessaires pour répondre correctement à tous les exercices soumis par tranche de 10, 20, 30 et 40 (Tableau 2). On notera que la connaissance acquise après n itérations pour chacune des tranches n'a pas été emmagasinée ; en d'autres termes le commencement du processus d'itération s'effectue toujours à partir des matrices de règles originales. Comme on pouvait s'y attendre, le nombre d'itérations nécessaires s'accroît avec le nombre d'exercices soumis. D'autre part, les résultats montrent que le processus d'apprentissage progresse de manière plus rapide lorsqu'on utilise la matrice des règles établie par le cartographe.

Ces tests démontrent deux faits fondamentaux : 1) le système expert est capable « d'apprendre », et 2) l'utilisation de la matrice des coefficients reflétant l'expérience préalable du cartographe améliore la capacité d'apprentissage du système.

Comme il a été mentionné, le système ne couvre qu'une partie du processus de réalisation cartographique. Une part importante de l'expertise cartographique – la capacité de traduire les besoins du client en termes cartographiques – n'est pas résolue. Il nous manque la capacité de dialogue, au travers d'un langage naturel, entre le système et le client potentiel. Il nous manque également, en aval, une connection intelligente entre les spécifications cartographiques et les programmes de construction automatique des cartes. Ces deux domaines sont en cours d'exploration.

REFERENCES

Fitzimmons Dennis E., 1985, "Base Data on Thematic Maps", The American Cartographer, Vol. 12, 57-61.

Naylor Chris, 1983, BUILD YOUR OWN EXPERT SYSTEM, Bristol : Arrowsmith Ltd.

TABLEAU 1. CATÉGORIES ENTRÉES ET SORTIES

CATÉGORIES ENTRÉES

Dynamique

1. Mouvement X-Y
2. Statique X-Y
3. Série Temporelle

Type de Données

4. Réseau
5. Donnée Volume sur Aire
6. Donnée Volume sur Ligne
7. Donnée Volume sur Point
8. Donnée Volume Aréale
9. Donnée Linéaire
10. Donnée Ponctuelle
11. Spatialement discrète
12. Non-Reliée aux Aires
13. Reliée aux Aires
14. Surface Différentielle
15. Surface Continue
16. Donnée Ubiquiste

Niveau de Précision

17. Relations Spatiales
18. Préservation des Directions
19. Préservation des Longueurs
20. Préservation des Positions
21. Préservation des Aires

Niveau de Lecture

22. Supérieur
23. Intermédiaire
24. Elémentaire

CATÉGORIES SORTIES

Aspect de la Projection

1. Oblique
2. Polaire
3. Transverse
4. Equatoriale

Surface de Projection

1. Conique
2. Cylindrique
3. Azimutale

Qualité de la Projection

1. Aphylactique
2. Equidistante
3. Equivalente
4. Conforme
5. Continue
6. Interrompue

Point de Vue

1. Vertical
2. Oblique

Type de Représentation

1. Cartogramme des Surfaces
2. Cartogramme Linéaire
3. Diagramme
4. Carte de Surfaces en Couleurs
5. Symbole Proportionnel Simple
6. Symbole Proportionnel Composé
7. Carte en Ligne

Nombre de Composantes

25. Une Composante
26. Deux Composantes
27. Plus de Deux Composantes

Dimension de l'Image

28. Tri-Dimensionnelle
29. Bi-Dimensionnelle

Type de Métrique

30. Rapport
31. Mesure Absolue
32. Mesure Ordinale
33. Mesure Nominale

Echelle Cartographique

34. Petite Echelle
35. Moyenne Echelle
36. Grande Echelle

Fonction de la Carte

37. Publicitaire
38. Communication
39. Traitement
40. Emmagasinage

8. Carte des Flux
9. Carte en Point
10. Carte Choroplète
11. Surface de Tendance
12. Carte Isoplète
13. Carte Isométrique
14. Stéréogramme
15. Carte Hypsométrique
16. Carte d'Estompage
17. Courbes de Niveau Inclinées
18. Carte Physiographique

Nombre de Cartes

1. Série de Cartes
2. Une Seule Carte, N Composantes
3. Une Seule Carte, 1 Composante

Chromatique

1. Polychromatique
2. Monochromatique

Variable Visuelle

1. Forme
2. Orientation
3. Texture
4. Couleur
5. Valeur
6. Dimension

Imposition Graphique

1. Symbole Volumique
2. Symbole de Surface
3. Symbole Linéaire
4. Symbole Ponctuel

Niveau de Généralisation

1. Elevé
2. Faible

TABLEAU 2. VITESSE D'ACQUISITION DES CONNAISSANCES DU SYSTÈME EXPERT

	10 Exemples	20 Exemples	30 Exemples	40 Exemples
UTILISANT LA MATRICE DES COEFFICIENTS ZÉRO				
Nombre d'itérations	8	10	17	24
UTILISANT LA MATRICE DES COEFFICIENTS DÉFINIS PAR LE CARTOGRAPHE				
Nombre d'itérations	6	8	13	19

GÉNÉRALISATION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR

Jean-Philippe GRELOT, Ingénieur Géographe

La généralisation cartographique vise à réduire le nombre de données transmises au lecteur tout en conservant autant que possible les informations qu'elles véhiculaient. Cette opération s'applique soit en conservant le caractère général de la carte et en en diminuant l'échelle (cas des cartes topographiques), soit en changeant le caractère de la carte dont on diminue éventuellement l'échelle (cas de la production d'une carte routière à partir d'une carte topographique).

La généralisation est un acte global : comme celle d'une caricature, la qualité d'une généralisation ne se juge que lorsqu'elle est achevée ; de ce fait on lui reconnaît une essence statistique difficilement compatible avec les contraintes de l'informatique et l'atomisation des tâches qu'elle requiert.

Sélection, schématisation, harmonisation

On distingue classiquement trois étapes dans un processus de généralisation.

La **sélection** consiste à choisir les objets qui seront conservés mais aussi et par voie de conséquence, ceux qui seront éliminés. Elle ne s'applique pas de manière arbitraire, ni uniforme : le nombre d'objets conservés dépend de leur densité initiale et de leur nature, et des critères de choix définissent des priorités. Une formulation mathématique est nécessaire pour opérer en cartographie automatique ce que le cartographe fait de manière presque naturelle lorsqu'il a sous les yeux l'ensemble d'une zone.

La **schématisation** est destinée à supprimer les détails graphiques nuisibles à la lecture et à renforcer les traits caractéristiques. Les lignes sont redessinées et non pas simplement réduites comme le ferait un appareil photographique, les signes conventionnels sont également modifiés. Les règles de lisibilité gouvernent cette étape.

La sélection et la schématisation ont essentiellement un caractère local. Pour compenser la tendance à l'égalisation et à l'uniformisation qu'elles induisent, on procède à une étape d'**harmonisation**, en rétablissant les rapports de densité entre les catégories d'objets, en assurant les raccords avec les coupures voisines, en ajustant les emplacements relatifs des objets les uns par rapport aux autres (rivières au fond des thalwegs dessinés par les courbes de niveau,...).

Généralisation conceptuelle et généralisation structurelle

Si l'on considère la carte comme une représentation de l'espace géographique, alors la généralisation doit être vue comme conduisant à une nouvelle carte. Il s'agit d'abord d'un processus intellectuel de définition, que l'on nomme **généralisation conceptuelle**, suivi d'une phase de mise en œuvre par le dessin, ou **généralisation structurelle**. La généralisation conceptuelle intègre la sélection et une grande partie des opérations d'harmonisation, tandis que la généralisation structurelle est assez proche de la schématisation.

Cependant, cette approche est plus satisfaisante dans la mesure où elle se rattache davantage au concept de représentation de l'espace qu'au résultat de l'expérience ineffable de l'artiste praticien. En particulier, elle fait mieux saisir l'aspect taxonomique de la généralisation, tout à fait parallèle à son aspect géométrique universellement connu. Les objets cartographiques à une échelle réduite ne sont pas de même nature que ceux de la carte initiale, même si on leur donne en légende le même nom, ce qui est quelque peu abusif. Prenons l'exemple d'un point pris sur une carte à l'intérieur d'une zone boisée : si la carte est à grande échelle, le point correspondant du terrain sera réellement dans un bois, avec une probabilité de l'ordre de 99 % ; si maintenant la carte est à petite échelle, le point correspondant à celui relevé sur la carte sera réellement dans un bois avec une probabilité réduite à 85 % (par exemple), si le signe adopté pour la zone boisée a été appliqué à une étendue composée d'un bois dont les clairières couvrent le septième de la surface ; la notion de bois ne recouvre pas la même réalité géographique quelle que soit l'échelle.

Un autre cas de généralisation montre un aspect structurel qui dépasse la seule schématisation. Lorsque l'échelle se réduit, une ville passe successivement de sa représentation par des objets ponctuels (les constructions) à une autre par des objets zonaux (les zones bâties, agrégations de constructions), puis par un signe conventionnel ponctuel (la ville), avant d'être intégrée à un ensemble zonal (l'agglomération urbanisée), puis de disparaître. Ou encore, un barrage figuré initialement comme objet linéaire devient ensuite ponctuel conventionnel.

Prêter à la généralisation un aspect conceptuel et un aspect structurelle est une vue théorique intellectuellement satisfaisante. Elle requiert toutefois, et ceci est inscrit dans les termes eux-mêmes, que l'on puisse, de la lecture des données initiales, tirer le schéma conceptuel ayant présidé à l'élaboration de ces données et en déduire un nouveau schéma conceptuel. Cette tâche de conceptualisation, déjà difficile en cartographie, est encore compliquée par les restrictions des modèles de données informatiques. La pratique fait revenir au triptyque sélection-schématisation-harmonisation, mais en replaçant en quelque sorte la carte ou les données à obtenir au point de départ du processus : on définit ce que l'on veut montrer (objets, relations entre objets) avant de voir comment traiter les données initiales.

Tant que le facteur de réduction d'échelle est inférieur à 5, la généralisation reste essentiellement structurelle ; si ce facteur est supérieur à 5, alors l'étape conceptuelle devient déterminante. De fait, ce ratio est fréquemment le seuil de passage d'une série cartographique à une autre, chacune des séries ayant ses techniques de rédaction à partir de ses sources de données, son rythme de révision, ses utilisations et ses utilisateurs. Ceci produira des bases de données constituées assez indépendamment les unes des autres, quitte à accrocher ensuite des passerelles pour, en particulier, faire bénéficier les unes des mises à jour effectuées sur les autres, avec les précautions géométriques et taxonomiques exigées par les différences de précision.

Formules de sélection

La définition conceptuelle de la carte étant faite, en particulier pour ce qui concerne sa taxonomie, on procède à la sélection des objets. Dans chaque unité de traitement, qui prend commodément l'aspect d'une dalle rectangulaire dans le système de coordonnées choisi, on va reporter certains des objets présents dans l'espace correspondant de la carte initiale, triés selon les critères retenus.

Intéressons-nous au nombre d'objets conservés. Désignons par N le nombre d'objets, par $\frac{1}{E}$ l'échelle ; par l l'épaisseur moyenne des objets linéaires et par s la surface moyenne des objets zonaux, mesurées sur la carte et respectivement par les indices i et f les données relatives à la carte initiale et à la carte finale. En conservant les mêmes caractéristiques graphiques, on obtiendrait par strict respect de la densité des objets figurés, des valeurs du rapport $\frac{Nf}{Ni}$ égales à $(\frac{Ei}{Ef})^2$ pour les objets ponctuels, $\frac{Ei}{Ef}$ pour les objets linéaires et 1 pour les objets zonaux dont la superficie peut être réduite dans le rapport des surfaces. Cependant, par observation de cartes réelles, Töpfer et Pillewizer ont établi une formule générale $\frac{Nf}{Ni} = \sqrt{\frac{Ei}{Ef}}$ devenue ensuite $\frac{Nf}{Ni} = Cb\ Cz\sqrt{\frac{Ei}{Ef}}$ par l'introduction de deux paramètres (tableau 1).

- Cb, paramètre d'exagération symbolique, traduisant l'amplification nécessaire pour respecter les règles de lisibilité ;

- Cz, paramètre de forme symbolique, traduisant l'importance donnée à certains types d'objets qui donne un aspect thématique à la carte généralisée.

Tableau 1 - Valeurs du rapport $\frac{Nf}{Nc}$

	cz \ cb	pas d'amplification (objets zonaux principalement) $\sqrt{\frac{Ef}{Ei}}$	amplification dans le rapport d'échelles (objets linéaires principalement) 1	amplification importante (objets ponctuels principalement) $\sqrt{\frac{Ei}{Ef}}$
pas de modification essentielle	1	1	$\sqrt{\frac{Ei}{Ef}}$	$\frac{Ei}{Ef}$
mise en évidence d'objets linéaires	$\frac{li}{lf}\sqrt{\frac{Ei}{Ef}}$	$\frac{li}{lf}\sqrt{\frac{Ei}{Ef}}$	$\frac{li}{lf}\ \frac{Ei}{Ef}$	$\frac{li}{lf}\ (\frac{Ei}{Ef})^{3/2}$
mise en évidence d'objets zonaux	$\frac{si}{sf}\ \frac{Ei}{Ef}$	$\frac{si}{sf}\ \frac{Ei}{Ef}$	$\frac{si}{sf}\ (\frac{Ei}{Ef})^{3/2}$	$\frac{si}{sf}\ (\frac{Ei}{Ef})^{2}$

On constate à la lecture de ce tableau une surdensification des objets linéaires et surtout ponctuels lorsque le caractère de la carte initiale est maintenu. Si l'on met en évidence une catégorie d'objets, ce qui donne un aspect thématique à la carte, on élague davantage jusqu'à éliminer l'effet de surdensification : il en est ainsi des objets linéaires lorsque la généralisation cherche à les montrer, ou des objects ponctuels lorsque le thème porte sur les objets zonaux.

Ces formules peuvent être nuancées en fonction de l'échelle, car la surdensification ne croît pas indéfiniment. La densité maximale est souvent atteinte pour une échelle de l'ordre de 1:1 000 000, après quoi le caractère de la carte change et induit une réduction de la densité de données.

Par ailleurs, des formules ainsi appliquées de manière indépendante aux diverses catégories d'objets supposent que les proportions d'objets des différents types soient dans des valeurs proches de normes fixées par avance. Le respect des caractères locaux, qui répond à un souci d'harmonisation, demande l'analyse de corrélations fines entre les nombres d'objets de chaque type, ce qui vient ensuite amender les formules de sélection. Il reste à définir alors des modèles d'équations de corrélation adaptés aux paysages que l'on traite.

Généralisation structurelle

En théorie, la généralisation structurelle repose sur l'analyse de la forme de l'objet. Or la cartographie automatique achope précisément sur l'appréhension de la forme dans sa globalité, elle se contente d'une décomposition en micro-éléments désarticulés. Il faut donc user de moyens détournés.

Le premier de ces moyens est la description sémantique de l'objet, dont le rapprochement avec la taxonomie retenue indiquera, outre le mode d'implantation (ponctuel, linéaire ou zonal), une approche du traitement géométrique à mettre en œuvre.

Dans un certain nombre de cas, on décidera alors d'employer des signes conventionnels, se substituant à d'autres signes conventionnels ou à des descriptions spécifiques. Les variables visuelles : forme, couleur, taille, orientation donnent la capacité de concevoir une large palette de tels signes ; cependant, une surabondance nuit à la lecture et l'équilibre doit être trouvé entre la vision synthétique qu'offre une carte généralisée et l'analyse que requiert la multiplicité des signes conventionnels : l'une est une "carte à voir", l'autre une "carte à lire".

Dès que l'on ne représentera pas un objet par un signe ponctuel ou un signe ponctuel orienté, on cherchera à simplifier la forme en travaillant la plupart du temps sur des éléments linéaires : implantation elle-même pour les objets linéaires, ou contours des objets zonaux. Les outils sont les algorithmes de lissage, séparés en trois catégories :

— les algorithmes d'élimination de points, comme l'élimination systématique de a points tous les b points avec $\frac{a}{b} = p \frac{Ei}{Ef}$ où p est soit constant (égal à 1), soit pris aléatoirement entre 0 et 2 ;

— les algorithmes de rééchantillonnage, comme celui de l'abscisse curviligne : sur une ligne décomposée en segments rectilignes de longueur moyenne λ i, on choisit les points définissant des segments de longueur curviligne $\lambda_i \frac{Ef}{Ei}$, et ces points sont les sommets de la nouvelle ligne poylgonale ;

— les algorithmes de sélection, comme celui de la corde glissante, qui procède par itérations : le premier point de la ligne est pris comme point d'ancrage et le dernier comme point flottant, et ils déterminent une corde ; on mesure la distance euclidienne de tous les points intermédiaires à cette corde ; si le point le plus éloigné est à une distance supérieure à la tolérance fixée (dans le cas de la généralisation, écart graphique retenu comme significatif pour le type de ligne étudié), il devient le nouveau point flottant ; on remonte ainsi par étapes vers le point d'ancrage, jusqu'à trouver un point flottant et une corde tels que les points intermédiaires soient à une distance de la corde inférieure à la tolérance ; ce point flottant devient point d'ancrage, et le dernier point de la ligne redevient point flottant ; la ligne généralisée a pour sommets les points d'ancrage successifs.

Parmi les algorithmes de rééchantillonnage doivent être mentionnées les fonctions splines. Ce sont des polynômes du troisième degré, définis avec des conditions aux limites préservant la continuité et la dérivabilité (et la courbure éventuellement), et qui minimisent la somme des carrés des valeurs prises par la fonction polynômiale aux points approximés : ainsi, les fonctions splines sont des estimateurs au sens des moindres carrés.

En mode maillé, il faut appliquer une convolution à chaque cellule de pixels donnant le pixel "généralisé". La fonction de convolution donne un poids plus ou moins prépondérant à l'un des pixels, et répartit les poids restants sur les pixels voisins.

La complexité relative d'un algorithme de lissage n'est pas, du point de vue de la généralisation, gage d'une plus grande efficacité. On sait que l'algorithme de l'abscisse curviligne amollit les courbes et en gomme les aspérités, moins toutefois que les fonctions splines, alors que l'algorithme de la corde glissante conserve en priorité ces aspérités ; l'élimination systématique a un comportement plus aléatoire. C'est donc en fonction de la morphologie de la ligne que l'on choisira un algorithme plutôt qu'un autre, et la description mécanique est utile en cela.

Le second moyen détourné pour appréhender la morphologie d'une ligne particulière est de calculer des grandeurs caractéristiques qui lui sont attachées : distribution des longueurs de segments, amplitude et distribution des changements de direction, etc ; il peut être nécessaire de fractionner les lignes en portions plus homogènes. Il est alors possible de recoder les coordonnées des lignes polygonales, qui deviennent comparables après une normalisation opérée par application d'un facteur d'échelle approprié. Après avoir défini une distance entre lignes polygonales normalisées, on regroupe celles-ci en classes d'équivalence : tout individu de la classe est apte à représenter ses congénères ; en particulier, la ligne qui comporte le nombre minimal de segments est en quelque sorte la forme généralisée des lignes de la classe. Pour attenuer l'effet par trop simplificateur de ce regroupement, il faut associer à chaque individu de la classe une grandeur compensant l'effet de la normalisation, comme le facteur d'échelle appliqué ou la dimension fractale de la ligne ; cette grandeur est utilisée lors de la restitution.

Plusieurs formes de description géométrique peuvent coexister au sein d'une même classe : lignes polygonales, courbes polynomiales, fonctions, fractales, distributions statistiques ou probabilistes, fractales. L'étude a priori des effets des algorithmes de lissage est utile pour guider le choix d'une restitution généralisée : il semble par exemple que l'algorithme de l'abscisse curviligne diminue la dimension fractale d'une ligne polygonale alors que celui de la corde glissante l'augmente.

Enfin, et ceci différencie la généralisation assistée par ordinateur de celle opérée manuellement, la schématisation choisie dépend de l'utilisation de la carte. Ainsi, une visualisation sur console en temps réel optera pour une sélection systématique, rapide ; une carte routière nécessitera de conserver les traits marquants du réseau routier tels que changements de direction ou décrochements dans les carrefours, en recourant à l'algorithme de la la corde glissante ; l'utilisation des mêmes données comme fond d'une carte thématique, par exemple une carte des flux de circulation, fera préférer un lissage extrême par l'algorithme de l'abscisse curviligne ou par fonctions splines.

En définitive, trois facteurs interviennent dans la généralisation structurelle : la nature sémantique des données, leur forme géométrique, et l'utilisation prévue des données généralisées.

Opérateurs élémentaires de généralisation

La généralisation ne porte pas sur un objet isolé de son contexte, mais intéresse l'ensemble des objets situés dans la zone traitée : en ce sens, elle présente un caractère plus global tout en se décomposant en un ensemble complexe d'opérations régies par des règles. Ainsi, il est possible de voir le résultat comme une fonction des objets initiaux dépendant de paramètres.

Tableau 2 - Opérateurs élémentaires de généralisation

Objets ponctuels	Objets linéaires	Objets zonaux
sélectionner/éliminer agréger/classifier déplacer/écarter agrandir	sélectionner/éliminer classifier déplacer/écarter agrandir/rétrécir	sélectionner/éliminer classifier déplacer/écarter agrandir/rétrécir
	lisser	lisser le contour
	superposer	superposer
	réduire	réduire remplacer par objet linéaire/ponctuel
	convertir maillé-vectoriel/vectoriel-maillé	convertir maillé-vectoriel/vectoriel maillé
	changer la topologie	changer la topologie
dessiner	dessiner	dessiner

Par exemple, pour une maison située en bordure d'une route : généraliser (maison, route) = réduire (déplacer, (intersecter (agrandir (maison) * agrandir (route))), ce qui signifie : agrandir les signes conventionnels maison et route, chercher leur intersection et si nécessaire déplacer les deux objets jusqu'à ne plus avoir d'intersection, puis réduire à l'échelle de sortie.

Les opérations varient selon le type d'objet (tableau 2).

On définit également des opérateurs pour les objets volumiques :

sélectionner/éliminer
classifier
lisser la surface
superposer
trouver les gradients/les pentes/les extrema locaux
reconnaître/éliminer des formes spécifiques
reconnaître des objets spécifiques
trouver/modifier les lignes caractéristiques
remplacer par des objets zonaux/linéaires/ponctuels
convertir maillé ⇔ isolignes ⇔ triangulation
dessiner

ainsi que pour les toponymes :

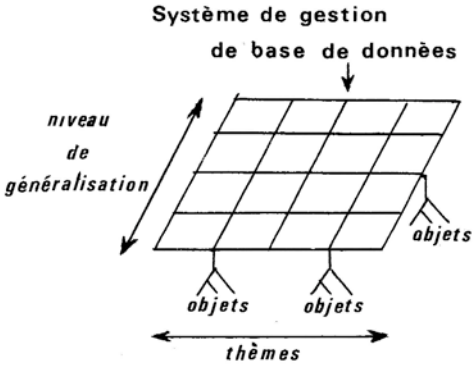
sélectionner/éliminer
déplacer/écarter
réduire/agrandir
changer la forme de la ligne de base
dessiner.

Système cartographique indépendant de l'échelle

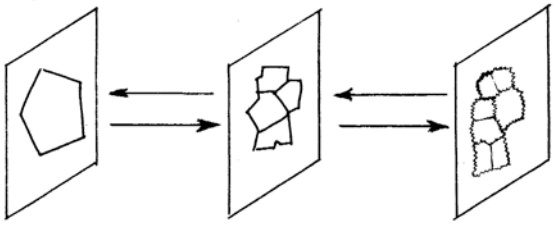
Ces opérateurs font immanquablement songer à constituer une base de données unique dont seraient dérivées des cartes généralisées, les réductions d'échelle et les accentuations thématiques s'effectuant quasiment en temps réel.

Ceci n'est guère envisageable, du moins en l'état actuel des connaissances. Au demeurant et comme il a déjà été souligné, une interprétation conceptuelle est nécessaire dès lors que le facteur de réduction dépasse 5, et rend insuffisante la schématisation géométrique. Dans tous les cas, il semble difficile d'éviter des reprises sur un poste interactif.

Dès lors, on envisage plutôt la base de données "indépendante de l'échelle" sous forme d'un système général composé de plusieurs bases, chaque base correspondant à un niveau de généralisation et à un sujet particulier.



Chaque objet possède alors plusieurs descriptions, sémantiques et géométriques qu'il faut lier entre elles par des pointeurs.



Généralisation, prédicat, métrique

Au-delà de la technique cartographique, la réflexion sur la généralisation assistée par ordinateur est une réflexion sur l'information géographique et sur sa perception. Elle est essentielle du fait que la limitation des capacités des consoles de visualisation substituera à la lecture libre d'une carte conventionnelle détaillée, une lecture par approches successives allant du général au particulier, donc commençant par le niveau le plus généralisé pour accéder éventuellement aux données de base, détaillées.

La généralisation établit clairement la séparation formelle entre description sémantique et description géométrique. Lire dynamiquement une carte du généralisé au détaillé, c'est enchaîner des perceptions successives dans une activité de lecture : à chaque étape est mentalement élaboré un prédicat que la lecture suivante infirme ou confirme. Or ces prédicats de plus en plus précis reposent sur une description sémantique correctement assimilée et mémorisée, alors que la géométrie ne l'est qu'imparfaitement. Plutôt qu'aux positions individuelles des objets, le lecteur réagit à leur disposition relative, dénommée topologie par abus de langage.

Il s'ensuit une série de questions qui, outre le concepteur du système de visualisation accédant aux données, intéresse le concepteur de la base de données elle-même : quelles activités cartographiques nécessitent-elles une perception géométrique précise, autre que des listes de valeurs numériques (coordonnées, distances, longueurs...) ? Quels niveaux de généralisation adopter, pour quels niveaux de perception et quels prédicats (ou enchaînements de prédicats) ?

Les cartes conventionnelles donnent d'emblée la précision maximale des données, pour l'échelle retenue. Est-ce légitime, ou bien seulement une habitude imposée par la technique ? L'affinement, opération inverse de la généralisation, opéré par une visualisation dynamique au fur et à mesure que le lecteur requiert une plus grande précision, modifiera-t-il sensiblement le processus de lecture cartographique ? Je crois que ce sujet mérite d'être étudié au moment où de nouvelles bases de données vont amener à créer de nouvelles formes de cartes. Plus que jamais, la conception cartographique doit intégrer les activités et les moyens de communication.

BIBLIOGRAPHIE

BRASSEL K. 1985, Sratégies and Data Models for Computer - Aided Generalization, *International Yearbook of Cartography* n° 25, pp.11-29

BRIBIESCA E. 1982, Shapes Classification on Digital Images, *ISPRS Commission IV Symposium 1982,* pp. 85-103.

CUENIN R. 1972, *Cartographie Générale,* Editions Eyrolles.

DEPUYDT F. 1984, La généralisation cartographique, *La Formation des Cartographes,* Séminaire ACI de Rabat, pp. 91-110.

SAALFELD A. 1985, Shape Representation for Linear Features in Automated Cartography, *1986 ACSM-ASPRS Annual Convention* Vol. 1, pp.143-152.

ZHU GUORI 1986, The Mathematical Model of Cartographic Generalization, *Seminar on Advanced Cartographic Education and Training,* Wuhan.