

CHARLES HUSSY

LA CARTOGRAPHIE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR

1. *Au seuil d'une ère nouvelle en cartographie.* — Notre époque vit dans la difficulté d'exploiter judicieusement les inventions les plus sophistiquées. En 1839, quand apparut le premier daguerréotype (reproduction de la photographie, inventée par Niepce), on pouvait penser qu'une révolution technologique commençait pour les amateurs d'art, mais surtout dans le monde de la communication, de la presse, de la publicité, des affaires, et allait être bientôt à l'origine d'un septième art. Or, il a fallu plusieurs décennies pour qu'elle se réalise, plus d'un siècle pour qu'elle trouve son achèvement dans la reproduction industrialisée par héliogravure, en attendant l'image diffusée à domicile, sur les ondes, grâce à la télévision.

Ainsi s'achevait la phase première et décisive du passage à une civilisation de l'image, à une primauté sans cesse renforcée de l'expression graphique. Pour la science et les techniques, cela représentait une condition nécessaire — mais non suffisante — d'un certain progrès des connaissances; car il restait encore, au moment où la *reproduction* graphique ne rencontrait pratiquement plus de limites, à oeuvrer pour que la *production* d'images fût à son tour libérée des siennes.

En effet, si la reproduction à partir d'un original est aujourd'hui devenue quasiment automatique, la production initiale d'originaux continue d'être largement artisanale à la fois dans le procédé et dans le rôle reconnu à la main de l'artiste. Aucune photo, aucune affiche n'a de valeur artistique ou publicitaire sans un grand effort

manuel, et le temps consacré à la création graphique est infiniment supérieur au temps pris par la diffusion du document, même pour un photographe qui doit choisir une œuvre originale parmi un grand nombre de clichés équivalents et sur une série d'épreuves. Et si l'on prend le cas exemplaire de la cartographie, on s'aperçoit que la composition photogrammétrique continue d'être sujette à des contraintes majeures de temps, de précision, de minutie, qui font de la réalisation de cartes une opération particulièrement peu rentable du point de vue économique. C'est d'ailleurs là un service de laboratoire confié généralement à des organismes publics, utilisé en tant que base par des entreprises privées qui s'occupent de cartographie spécialisée. Autrement dit, cette activité représente peut-être le secteur le plus arriéré dans le domaine culturel de l'iconographie, si l'on compare son coût à son utilité, actuelle ou potentielle, en de nombreux domaines. S'il est vrai qu'en économie, souvent, la fonction (ou la demande) suscite l'organe, là au contraire l'insuffisance organique inhibe la fonction.

Que fallait-il au juste pour que se libère le garrot du travail artisanal dans la production d'images en général, de cartes en particulier? Les Japonais l'ont saisi, qui produisent avec un minimum de dessin manuel des films d'animation et ces « dessins animés » qui passent aujourd'hui sur nos chaînes de télévision; ils ont saisi qu'il vaut mieux calculer les différences d'une image à l'autre, plutôt que de créer lors de chaque changement d'image un dessin nouveau. Rien ne s'oppose au calcul systématique des variations du mouvement et à la production quasi instantanée d'une séquence, à partir de l'ensemble initial des points formant une figure. C'est en quelque sorte un procédé de *transformation* graphique appelé à se diffuser largement dans le monde du cinéma.

Les besoins scientifiques en matière graphique sont, quant à eux, de nature à susciter le développement d'un appareillage et d'un logiciel qui projettent des données numériques sur un écran visuel, ou sur une installation produisant des images « solides » (« hard copy »). À cet égard, les pays anglo-saxons ont déjà franchi le stade des gros investissements dans les configurations

graphiques, que l'Europe continentale va importer, tout en essayant de prendre elle-même une part active sur le marché nouveau et prometteur du matériel de gestion ou de recherche. Entraînée par les progrès gigantesques de l'informatique en général, la graphique assistée par ordinateur a ainsi d'ores et déjà atteint le stade du progrès incontrôlable, celui auquel les moyens à disposition sont si importants et si divers qu'on ne sait plus clairement discerner les finalités prioritaires. C'est alors le moment, spécialement dans le domaine scientifique, de concevoir une idée précise des buts à atteindre lors de l'utilisation d'un éditeur graphique. Si l'ordinateur assure une rapidité d'exécution, une fiabilité, une souplesse, il reste l'exécutant d'une conception au service de laquelle il fabrique des séries d'images, laissant au cartographe le soin de choisir celle qui « parle », un peu à la manière du photographe. Il faut donc éviter que la création de cartes ne devienne totalement mécanique ou automatique, disons même qu'elle ne devrait pas l'être du tout. Avant de mobiliser des moyens de calcul, il convient d'abord d'assumer entièrement les choix méthodologiques portant sur les variables visuelles, le système de représentation, le degré de généralisation, c'est-à-dire les paramètres de base de la graphique. Si la créativité inhérente à ces instruments est laissée à la machine en « option standard », on perd en puissance heuristique tout l'avantage offert par la puissance de traitement. Le risque n'est donc pas mince de voir se faire jour une certaine robotisation de la cartographie.

Quand donc on parle de « cartographie automatique », on entend une méthodologie renouvelée par la technique et non la disparition, grâce à l'ordinateur, d'une discipline artisanale dans ses procédés et ses méthodes. Cette méthodologie nouvelle s'appuie sur un rapport d'interdisciplinarité entre, d'une part, les méthodes graphiques et, d'autre part, le binôme « Géographie-Informatique »; comme l'indique la figure ci-contre, la géographie et l'informatique ne sont guère connexes en elles-mêmes, leur unique point commun de référence étant d'ordre méthodologique.

Sur ce point justement intervient la graphique, dont les applications concernent simultanément chacune des deux disciplines. Toutefois, nous ne nous placerons pas sur le terrain, en

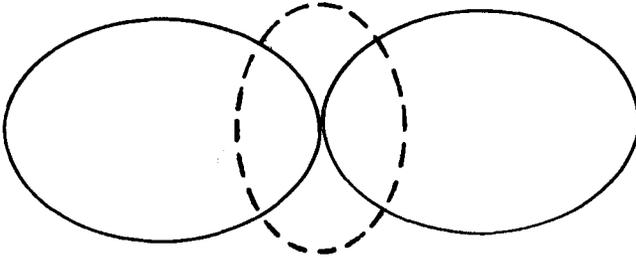


FIG. 1 — GÉOGRAPHIE, GRAPHIQUE, INFORMATIQUE.

l'occurrence trop technique, de la programmation; de même qu'il serait hors de propos d'aborder ici de front les problématiques de la géographie humaine. Tout ce que nous dirons sur ces deux sciences concernera la sémiologie elle-même.

Car il s'agit d'un dialogue interdisciplinaire et c'est dans le cadre d'une science appelée *graphique* qu'il est concevable d'envisager, et d'instituer correctement ce dialogue, au moment où, comme on l'a dit, la Cartographie Assistée par Ordinateur (CAO) en est à la « fin des débuts » (1).

2. *La Sémiologie Graphique, médiatrice entre géographie et informatique.* — On a donc deux sciences, qui sont susceptibles de trouver ensemble un champ d'application. D'un côté, une science de l'homme qui tend à se construire comme science nomothétique, c'est-à-dire qui cherche à formaliser la connaissance de pratiques humaines dans leur dimension spatiale; pour un géographe, il est donc essentiel de pouvoir interroger, dans l'espace matérialisé sur une carte, des structures projetées, afin d'en comprendre la logique, les buts et les moyens d'action. De l'autre côté, l'informatique, science formelle apparentée à la cybernétique, se développe à la manière d'une logique avec ses langages et ses algorithmes. Dans ce rapport interdisciplinaire, la première formule des besoins que la seconde est en mesure de satisfaire,

(1) *The Computer in Contemporary Cartography* (ed. by D. R. Fraser Taylor), Chichester-New York-Brisbane-Toronto, John Wiley & Sons, 1980.

à condition qu'un certain travail soit consenti pour mettre au point cette aide formelle. C'est là qu'intervient précisément la sémiologie graphique.

Cependant plusieurs questions demeurent encore non résolues dans le faisceau des aides demandées à l'informatique de recherche pour la géographie en particulier, et cela en dépit de l'immense production déjà réalisée en logiciel statistique. On sait que le calcul numérique appliqué à l'analyse de données est, sur le plan mathématique, déjà fortement développé; on admet moins volontiers, par contre, que la recherche en géographie reste tributaire d'un « software » jusqu'ici très inadéquat, dans la mesure où elle est conditionnée par son référentiel, l'espace. Ainsi, notamment, subsiste une lacune importante par rapport à la contiguïté des unités d'observation. Pour prendre un exemple, l'analyse factorielle traite des individus statistiques comme une série équivalente d'objets pris au hasard; or, on sait bien qu'ils entretiennent, dans le cas d'un échantillonnage géographique, des rapports de voisinage; même si on les ignore, ces rapports jouent un rôle essentiel dans le complexe des relations entre les variables, rôle qui est formulé généralement sous l'expression d'autocorrélation spatiale. Il s'agit bel et bien d'une difficulté méthodologique non encore surmontée, du moins dans toute son ampleur. En effet, il faudrait pouvoir tenir compte, lors du classement typologique issu, par exemple, d'une analyse discriminante, non seulement des voisinages affectant chaque unité d'analyse, mais au mieux de la longueur linéaire, voire rectilinéaire, des frontières communes à deux ou plusieurs unités contiguës, pour en faire une contrainte de classement assortie de seuils de tolérance. Car la reconstitution graphique du territoire, cette réalité qui conditionne si fortement l'action humaine, est à ce prix.

Mais cette question déborde largement le cadre de notre sujet; la solution d'un problème de ce genre implique de toute manière, comme condition suffisante sinon nécessaire, une certaine puissance de calcul. Or, il se trouve que l'on a résolu depuis longtemps ce problème sans le savoir, en suivant une autre voie, par recours direct à la carte. En effet, la production systématique d'images lors d'une séquence d'opérations statistiques

assure un contrôle visuel des données et permet d'intervenir directement sur l'échantillonnage. Ainsi, supposons qu'on traite un échantillon statistique tiré d'un recensement, donc qu'on utilise un découpage de l'espace étudié qui correspond au maillage politico-administratif; a priori, rien ne prouve que ce type d'échantillon soit le meilleur, car on doit le considérer fondamentalement comme arbitraire. Remarquons d'ailleurs qu'il en va de même du découpage du temps, lors d'une étude historique, quand on ne dispose que de connaissances chiffrées à périodicité régulière. On peut alors regrouper les données suivant un critère choisi, pour obtenir un échantillon plus petit mais plus représentatif de la distribution étudiée. Or, il importe alors, du point de vue statistique, que la variance d'un phénomène pris comme référence soit minimale entre les sous-unités regroupées, maximale entre les groupes constituant le nouvel échantillon, de manière à réaliser par le redressement des données un certain optimum statistique atténuant les effets de l'autocorrélation spatiale. On imagine tout le travail que suppose une telle manipulation des données; si l'on dispose d'un ordinateur, on peut informer celui-ci de la structure de voisinage à respecter dans l'analyse et le regroupement optimisant la variance. À défaut d'ordinateur, une bonne carte de la variable permet d'effectuer aisément à la main les ajustements de population.

Cette digression dans le domaine de la statistique montre en définitive à quel point la géographie demeure tributaire de la graphique, seule capable de restituer au chercheur un contact direct avec ses données. Et d'ailleurs, force est d'admettre la valeur « finale » du croquis, tellement vraie que toute la méthodologie statistique — il faudra un jour démontrer une telle affirmation — ressortit à la sémiologie graphique dans le contexte de la recherche géographique. C'est vers l'image de l'espace que converge, dans cette discipline, toute la démarche analytique, une telle image étant en définitive un objet construit qui représente une certaine portion de réalité. Mais la construction ou, en termes plus adéquats, la composition graphique a ses règles propres, raison pour laquelle il sera nécessaire d'entrer de plain-pied dans une discipline spécifique traitant de ces techniques.

La sémiologie graphique a été développée en tant que science par J. Bertin (2); ses nombreuses observations relatives à la spécificité graphique, aux outils et aux limites de ce moyen d'expression, ont désormais valeur de référence pour l'investigation scientifique. Ses remarques concernant l'instantanéité de l'image ou les contraintes de la vision oculaire sont de première importance pour saisir une signification structurale du dessin et permettent d'aller de l'avant vers une formalisation graphique. On relèvera par exemple cette affirmation, apparemment paradoxale: « La graphique n'est pas un outil de mesure, mais de questionnement » (2, id.).

Cela revient à dire qu'« on ne lit pas une carte, mais on lui pose des questions »! C'est certain du moment que son but est de situer, de « localiser » des objets pour que l'oeil puisse découvrir entre eux des relations. Et c'est pourquoi la sémiologie graphique doit reposer sur des principes rigoureux, simples, et surtout univoques, dont le fondement, dans notre culture classique gréco-romaine, repose en définitive sur l'axiomatique euclidienne.

À l'utilité d'un ordinateur comme auxiliaire à la construction cartographique répond d'ailleurs aussi une exigence de conception rigoureuse; car si la machine est capable de réaliser une « présentation » de l'information géographique, c'est en vertu d'un certain code établi au départ et qui permet d'automatiser l'application. Il faudra donc esquisser dès maintenant les principes fondamentaux d'un code graphique, si l'on veut pouvoir montrer par la suite sur quelques exemples l'intérêt d'une réalisation par CAO.

3. *Code graphique, lexique et syntaxe.* — Tout comme la grammaire d'une langue, un code est un système de classement d'unités sémiologiques minimales, assorti d'une syntaxe. Établir un code graphique revient donc à définir des classes de signes ou concepts graphiques, à partir de propriétés considérées comme

(2) Pour la bibliographie détaillée: G. KRIER, *La carte d'analyse, Application de la Graphique dans la méthodologie géographique*, thèse de Troisième Cycle à l'Université d'Aix-Marseille II, 1981.

pertinentes. La réalité première, en l'occurrence, est le plan, sur lequel un lecteur identifie la présence ou l'absence de signes intentionnels du graphiste. Autrement dit, le signe graphique est binaire, c'est-à-dire qu'il procède par contraste lumineux soit sur le papier, soit sur l'écran balayé par le faisceau d'un tube cathodique. Le plan est le *signal*: on perçoit la présence ou l'absence du signe dans le plan, mais toujours un plan.

Dès qu'il y a signe, on peut reconnaître à ce dernier une identité qui, de toute façon pour un oeil occidental, se réduira à la forme d'un point, d'une ligne ou d'une surface, les trois éléments euclidiens de base. À noter que ces trois éléments s'engendrent mutuellement: le point qui se répète donne la ligne, la ligne qui se recoupe elle-même donne le point, celle qui se referme produit la surface qui elle-même, en tant que surface définie, possède une limite et donne ainsi, à son tour, une ligne. Par ailleurs, le point, la ligne peuvent être considérés comme la réduction d'une surface et la surface, comme l'extension d'un point ou d'une ligne. Il existe de la sorte une certaine circularité des relations entre points, lignes et surfaces (P, L, S), et on voit bien que ces distinctions sont finalement conventionnelles. Ainsi, par exemple, le point, la ligne occupent graphiquement toujours une certaine surface. Les distinguer, les percevoir en tant que différents procède tout bonnement d'un certain acquis culturel de type occidental, issu de l'Antiquité classique, acquis grâce auquel tous les axiomes et algorithmes relevant de la géométrie dite « euclidienne » ont pu être construits. Il ne s'agit nullement — ceci à l'encontre de l'avis de Bertin — d'une quelconque nécessité naturelle.

A ce premier stade de présentation d'un code graphique, on peut distinguer deux types de configurations graphiques pouvant être couplées à un ordinateur. Le traceur d'une table à dessin peut parfaitement exécuter des surfaces, des lignes et des points; l'imprimante, elle, ne produit que des points qui doivent être alignés pour ressembler à une ligne, ou assemblés pour former une surface. Donc, l'imprimante est un instrument moins précis, qui schématise davantage le dessin.

A leur tour, les P, L, S, signes élémentaires, définissent des

ensembles couramment utilisés et qui peuvent être associés de toutes les manières:

- des semis de points
- des lignes réticulées ou réseaux
- des maillages ou assemblages de surfaces.

On voit donc que le paradigme euclidien, qui discerne dans une tache un certain segment P, L, S fournit du même coup une première *syntaxe graphique*. En effet, le graphiste dispose fondamentalement de trois systèmes de représentation:

- des cartes en points localisés (du type « dot map »)
- des cartes en réseau (type cartes de flux)
- des cartes en surface (ou chorogrammes).

Ces trois systèmes sont composables; on peut créer, par exemple:

- des isochoroplèthes associant ligne et surface
- des cartodiagrammes associant point et surface
- des graphes associant point et ligne.

On peut encore, cela va de soi, construire une carte multivariée associant les trois systèmes, mais cela sous certaines conditions statistiques de corrélation entre les variables, que nous n'aborderons pas ici. Nous ne nous étendrons pas davantage sur les propriétés spécifiques de chacun des trois systèmes, sauf pour signaler une erreur courante; effectivement, on oublie parfois que S (la surface) possède une propriété de composition, l'œil discernant toujours l'ensemble avant le détail; il importe en conséquence de pondérer les valeurs figurées dans ce système, en calculant leur densité, de manière à équilibrer la densité graphique du dessin. La représentation d'une grandeur brute, en revanche, convient parfaitement au système Point.

Au-dessus du classement euclidien des variables graphiques se place enfin un second niveau d'articulation syntaxique, le niveau euclidien étant, bien entendu, le premier niveau; celui-ci repose sur trois séries de relations qu'on peut faire varier sur un même segment P, L, ou S: relations d'équivalence (versus

d'opposition), relations d'ordre et relations de proportionnalité. Tout P, L, S peut revêtir une forme, une couleur, prendre une certaine taille, présenter une orientation ou contenir une valeur, cela indépendamment de leur implantation sur le plan qui peut, comme on l'a vu précédemment, être ponctuel, linéaire ou aréolaire. Il s'agit donc maintenant d'une différenciation secondaire du même segment.

1) *Relation d'équivalence* permettant de distinguer une *variation de forme* ou une *variation chromatique*. Exemples: Point rond; carré, ovale, triangulaire, en étoile... ou Surface vide, pleine, tramée, symbolisée, hachurée... ou Ligne droite, courbe, simple, double, triple, tiretée, pointillée...

Point, Ligne ou Surface rouge, vert(e), bleu(e), jaune... etc.

On pourrait croire que l'encodeur décide arbitrairement d'une forme géométrique ou d'une longueur d'onde lumineuse, mais il n'en est rien. Car en réalité il utilise des formes ou des couleurs selon un code implicite hérité d'une tradition culturelle, familière à lui-même ainsi qu'au lecteur non-initié. Sa liberté s'exerce seulement sur le plan de la signification d'une forme ou d'une couleur. En CAO, il devra donc expliciter dans son programme toute la série utilisée des formes ou des couleurs, puis indiquer en légende la signification conventionnelle qu'il leur attribue.

2) *Relation d'ordre*. Tout segment peut être ordonné suivant la *taille*, la *valeur* ou l'*intensité* rétinienne d'une teinte. La valeur peut être le grain ou la densité d'unetrame. Cette relation (l'ordre) repose sur une inégalité simple (information par rangs) ou sur une grandeur numérique, dont l'origine n'est pas nécessairement significative (cas d'une série d'années de référence).

Exemples: largeur d'une ligne, diamètre d'un point, taille d'une figure ponctuelle; valeur ou intensité chromatique d'une surface, d'un point ou d'une ligne.

Ici, la programmation consiste à définir les classes à la fois en termes numériques et graphiques; en termes graphiques, il est essentiel que le code respecte des différences sensibles d'une classe à l'autre.

3) *Relation de proportionnalité*. La variation d'ordre est susceptible d'obéir à des proportions numériques strictes entre une variable statistique à représenter et la *taille*, voire la *valeur* ou l'*intensité* de la variable visuelle correspondante. Cela implique bien sûr une classification et le calcul de la surface des signes, ou de la densité des trames. La règle de proportionnalité n'est pas forcément linéaire (logarithmique, par exemple), sinon on court le risque d'avoir une gamme de tailles trop étendue dans ses extrêmes. De même, un *vecteur* est orientable selon 360 degrés angulaires, en fonction d'une problématique donnée.

Exemple: la rose des vents. On utilise aussi cette variable d'*orientation* pour la division circulaire d'un diagramme (diagramme polaire).

Ce niveau « supérieur » de la représentation graphique pose un problème intéressant lors de la phase de programmation et celle d'utilisation car il faut pouvoir définir la taille d'un signe, la densité d'une trame, l'orientation d'une ligne partant d'un point, etc. La quantification graphique mérite en soi le plus grand soin: elle conditionne la lecture de la carte dans son ensemble.

En conclusion, on constate que les règles fondamentales utilisées par nos codes graphiques d'inspiration euclidienne sont en eux-mêmes assez simples, mais qu'elles exigent dans la réalisation pratique un esprit de méthode; cet esprit, avouons-le, ne transparaît pas toujours au travers des publications courantes. Or, il est irresponsable d'abandonner la liberté de choix d'un système de classification ou de représentation, ou celle de la variation visuelle à l'intérieur d'un système. De même, encore, le nombre de classes visuelles est à définir en fonction du nombre d'observations. Ces principes ne constituent aucunement un obstacle méthodologique insurmontable et les « bons » programmes ont prévu de laisser à l'utilisateur une grande marge de manoeuvre, qu'il est nécessaire d'utiliser.

La syntaxe générale qui réunit les trois systèmes P, L, S avec leurs six variables visuelles fait de la graphique euclidienne un code à double articulation. Cela veut dire qu'en pratique, le cartographe dispose d'un nombre très important de solutions à

ses problèmes, donc qu'il se trouve placé en situation « ouverte » pour composer des images. Certes, force est d'admettre que les logiciels les plus répandus de CAO ne permettent pas de recourir à toutes les possibilités théoriquement définies: aucun programme n'est encore capable de traiter une matrice de mouvements puis de dessiner le graphe des structures principales, ou de reproduire des diagrammes de taille variable, sur une carte qui doit encore servir à d'autres représentations. Il est donc important, pour conclure, d'aborder ces questions relatives au « software » dans l'optique de ses limitations actuelles et de son développement prévisible. On est en effet en droit d'attendre des progrès décisifs dans les centres de calcul à grande capacité ou simplement, dans le domaine du matériel périphérique.

4. *Logiciel cartographique actuel ou à venir.* — Sous ce titre ambitieux, nous présenterons trois programmes qui sont sans doute les ancêtres les plus illustres du logiciel cartographique et qui sont dûs aux collaborateurs du « Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis » (3) de l'Université de Harvard. On peut les présenter sommairement comme suit:

SYMAP, le plus ancien programme, conçu dès 1963 et, à maints égards, le plus riche de possibilités, n'effectue que des dessins imprimés ligne par ligne à la manière d'un texte, mais il calcule par interpolation des cartes en isochoroplèthes, des chorogrammes à partir de points, ou encore des surfaces de tendance par régression polynomiale avec leurs résidus. Large gamme offerte en ce qui concerne la présentation et la symbolisation, classification libre ou conventionnelle.

SYMVU, appendice de SYMAP, construit des vues en perspective qui imitent en les projetant des vues à trois dimensions, pour une seule variable. Options de regard très souples, triple procédé de construction au choix de l'utilisateur, sortie sur table à dessin (Plotter ou autre procédé rapide) avec des hachures variables.

(3) Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, Graduate School of Design, Harvard College, Cambridge, Mass., 1974-1978.

CALFORM enfin, le plus récent programme, a pour fonction de dessiner des cartes en surfaces (chorogramme) à bonne résolution, c'est-à-dire très près de la précision d'instruments cartographiques conventionnels. L'utilisateur évite donc la perte de temps nécessaire au dessin manuel ou mécanique pour la publication; CALFORM ne traite que des surfaces, mais offre un nombre pratiquement infini de remplissages (grisés, trames ou symboles (4), tous à définir dans leurs dimensions) et permet d'habiller la carte de titres ou légendes, d'annexes, de graphiques, etc. On voit d'emblée que ces programmes sont complémentaires et non substituables.

Il est clair que l'on pourrait mentionner bien d'autres programmes, dont certains très réputés pour leur performance (DIME (5) par exemple), moins répandus en raison de certaines incompatibilités de format, ou produits ailleurs qu'aux USA, diffusés moins largement dans le milieu universitaire. En outre, il est certain que bien des centres de recherche ont mis au point leur propre logiciel; ainsi, Genève dispose depuis 1978 d'un logiciel d'application locale (6), de même que les Écoles Polytechniques de Suisse. Les expérimentations graphiques commencent à intéresser les informaticiens; une thèse en cours à Genève présentera prochainement un système interactif permettant de manipuler en direct, par agrandissement, le détail d'un dessin ou d'opérer des rotations d'objets sur l'image (7). L'avantage de cette nouvelle génération du logiciel sera de livrer des outils moins finalisés que ne le sont les programmes déjà anciens de cartographie par ordinateur. Souplesse, efficacité, liberté d'action et — il faut le dire — meilleur niveau de compétence des utilisateurs, tels seront les principaux effets à long terme du développement général du hard et du software graphiques.

(4) J'appelle ici symbole un signe conventionnel tiré du répertoire typographique.

(5) Dual Independent Map Encoding, distribué par le User Service Staff, Bureau of the Census, Washington DC 20233.

(6) CARTOM, deux programmes exploitant les données à l'hectare de la Suisse ou des bases géographiques régionales, département de géographie de l'université.

(7) B. IBRAHIM, *Étude et réalisation d'un éditeur graphique fortement interactif*, thèse, Université de Genève, 1982.

Si l'on en reste à un examen critique de ce qui existe aujourd'hui, SYMAP, SYMVU, CALFORM permettent de tirer les premières leçons méthodologiques des expériences passées et de mesurer l'ampleur des tâches à venir.

5. *Vers un système intégré de cartographie « automatique ».*
— Essayons, pour conclure, de faire la part de ce qui existe en CAO par rapport à l'ensemble des opérations pour lesquelles on est en droit d'attendre une aide pratique de l'ordinateur. Il serait erroné de penser que de tels programmes (SYMAP, etc.) se suffisent à eux-mêmes et permettent d'effectuer des travaux cartographiques; en effet, il convient de distinguer dans ce domaine trois sortes de logiciels:

- a. Les bases de données géographiques et statistiques
- b. Les programmes de cartographie
- c. Les programmes de gestion et d'adaptation du logiciel.

La première rubrique concerne surtout les réseaux de digitalisation, c'est-à-dire en résumé les « fonds de carte », qui demandent un long travail de mise au point et qui, donc, devraient être mis systématiquement sur le « marché » des données afin d'éviter aux usagers un travail de précision fastidieux et de faciliter des échanges d'idées ou de bases de données. Ce type d'organisation devrait au moins s'avérer possible au niveau national, voir régional; il suppose une certaine uniformisation des logiciels, principalement en ce qui concerne les postes *b* et *c*. Impossible, en effet, d'échanger des bases de données si l'on utilise des programmes différents de cartographie.

Quant aux programmes, il est difficile d'assurer une homogénéisation du software, à cause des différences entretenues à dessein par les constructeurs d'ordinateurs. Nous avons néanmoins fait l'expérience d'une collaboration entre des unités académiques qui utilisent du matériel non compatible, ce qui démontre le rôle que peut jouer la communication interuniversitaire dans une gestion des ressources qui respecte la propriété intellectuelle tout en ménageant des « passerelles » de transmission d'une machine à une autre.

Enfin, et pour tenir compte des difficultés techniques d'utilisation des programmes et des bases de données, le laboratoire de Harvard a été encore un pionnier en publiant en 1974 un programme de gestion des bases de données spatiales servant à traiter, corriger, tester n'importe quel réseau de digitalisation et à le rendre compatible avec un programme de cartographie. POLYVRT (c'est son nom) est ainsi capable d'exploiter la base extrêmement bien faite appelée « World Data Bank » (8), originellement conçue par la C.I.A. Cette base présente l'appréciable avantage de pouvoir être adaptée au degré de détail qui convient à une application donnée. POLYVRT le mobilise selon une projection et sous une forme (SYMAP, CALFORM, etc.) requises par l'utilisateur.

6. *Performances et limites des programme de CAO.* — Quel que soit le prochain développement des instruments de CAO — notamment en ce qui concerne le logiciel interactif — qui viendront compléter et intégrer ce qui existe, il semble important de souligner que cette évolution conservera et même renforcera la spécialisation en deux branches de la cartographie automatique. D'un côté, les services spécialisés de topographie disposeront de l'informatique à leur manière, dans le sens d'une réduction du temps d'intervention humaine, mais continueront d'être les pourvoyeurs de bases cartographiques figurant les éléments fixes et durables de la surface du sol. De son côté, la cartographie de recherche doit opérer son propre développement, tout en utilisant les bases de données topographiques, mais en sélectionnant pour la digitalisation les « fonds de carte » appropriés à ses objectifs. En somme, la topographie et la cartographie dite « thématique » seront de plus en plus indépendantes par leurs finalités, et de plus en plus complémentaires par leurs moyens. En effet, la seconde, qui bénéficie de bases de données précises, peut en retour procurer du logiciel graphique à la topographie.

(8) World Data Bank (WDB) File, National Technical Information Service, Springfield, USA, 1972. Documentation auprès de General Services Administration of the Federal Government, Superintendent of Documents, Washington DC 20402.

Cela étant, on peut conclure ce tour d'horizon des possibilités actuelles en CAO par quelques exemples. Pour montrer les performances en calcul de SYMAP, on a choisi non pas des cartes en surfaces conformes ou proximales ou encore en isoplèthes, mais on lui a demandé de calculer une « surface de tendance » de la population suisse de 1980 (fig. 2) sous la forme d'une équation du premier degré. Les données sont résumées en huit classes et la variation ordonnée de la surface est une valeur noir-blanc, obtenue par superposition de caractères typographiques. L'image obtenue est fort simple, elle opère une partition du pays dans le sens est-ouest, où le Plateau apparaît comme la zone dense. Ensuite, pour corriger l'excès de généralisation, il est nécessaire de demander une carte des résidus (fig. 3), qui fait apparaître une répartition ponctuelle des principaux centres urbains suisses, selon le dernier recensement.

On notera le caractère schématique de ce type d'output, destiné principalement à la recherche et offrant l'avantage d'un calcul et d'une exécution qui demande peu de temps. On préfère donc, en général, utiliser CALFORM lorsqu'il s'agit d'une exécution finale, destinée à la publication; d'autant qu'une carte du type SYMAP n'est pas très accessible au grand public, quand elle présente le résultat d'une analyse spatiale. Dans cet autre exemple (fig. 4), on étudie le confort urbain; il est difficile de trouver des critères de confort, mais facile d'en trouver pour le manque d'équipement domestique. En conséquence, la carte indique le « degré d'absence » dans chaque immeuble de w.c., de bains ou de chauffage central, avec une pondération plus forte pour l'absence de w.c. Le programme emplit les surfaces des quartiers statistiques de la Ville de Genève d'une valeur en point ou en trait; la séparation de la forme point-trait indique elle-même une valeur moyenne. Cette seconde application de la CAO a pour elle l'esthétique et une bonne résolution cartographique; comme inconvenient, elle prend pas mal de temps sur la « sortie » plotter.

La conclusion ultime qui s'impose consiste à reconnaître les lacunes qui subsistent dans le logiciel cartographique à l'usage

P O P U L A T I O N D E L A S U I S S E E N 1 9 8 0

S U R F A C E D E T E N D A N C E D ' O R D R E 1

R E C E N S E M E N T F E D E R A L



FIG. 2.

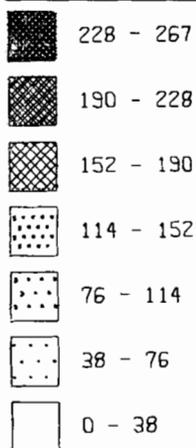
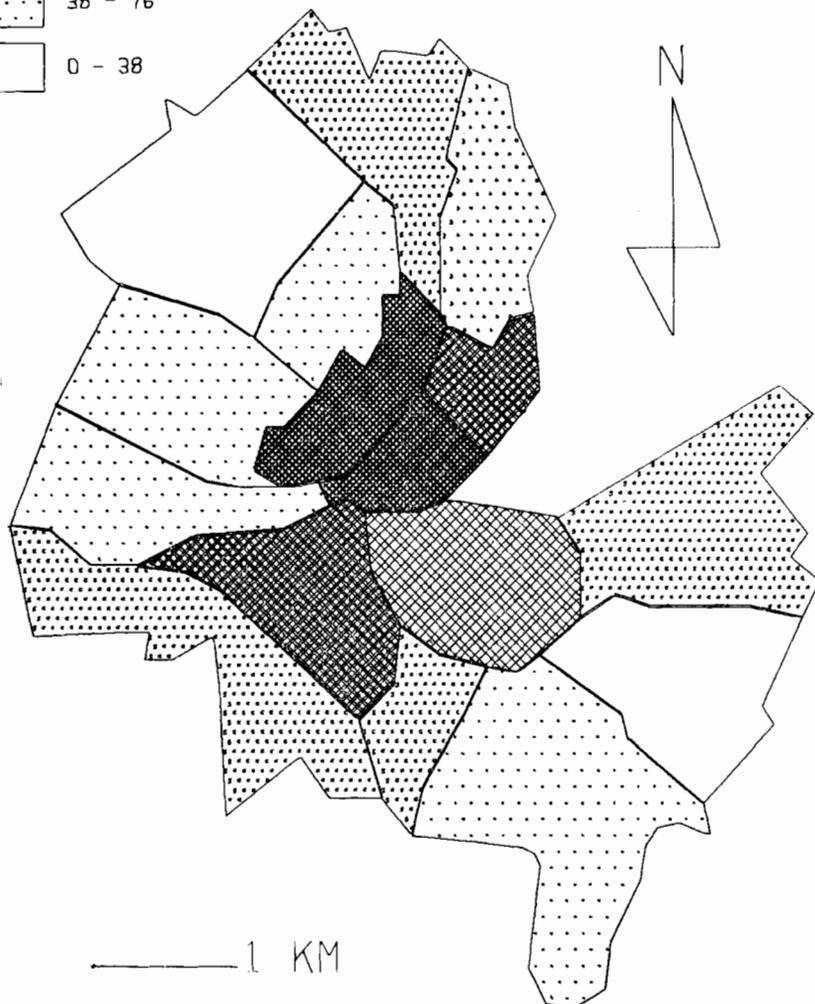


FIG. 4 — VILLE DE GENÈVE PAR SECTEURS DEMOGRAPHIQUES: DEGRE D'INCONFORT DES LOGEMENTS (RFP).



des géographes. La première génération du sofftware a produit des programmes d'analyse univariée, qui sont quasiment capables de mobiliser l'ensemble des systèmes et des variations visuelles. Avec le développement en cours d'éditeurs graphiques interactifs, on va pouvoir mettre au point du logiciel de cartographie multivariée, ce qui représentera en somme l'« âge mûr » de la discipline. Tout en tenant compte des réserves formulées par Bertin quant au principe même de la superposition d'images, c'est sans aucun doute le but final qu'il faudra atteindre pour pouvoir jouer librement avec la composition graphique. Et c'est là un jeu qui, en géographie, prend la dimension d'un enjeu; de même que tout montage visuel nécessite des moyens de traitement de documents photographiques, la recherche géographique va pouvoir, se doter d'un matériel qui servira à composer des formes d'expression territoriales; c'est ainsi tout bonnement la recherche de synthèses graphiques (9) qui en dépendra dans l'avenir.

LA CARTOGRAFIA AUTOMATICA. — Paragonando i progressi compiuti nel campo della realizzazione grafica con quelli della riproduzione, ci accorgiamo di quanto i primi siano stati modesti: l'elaboratore rappresenta un mezzo sicuro per far avanzare la realizzazione, a condizione però che si approfondisca la metodologia cartografica nel quadro della semiologia grafica.

In geografia ci si ritrova spesso davanti a un ostacolo: la difficoltà di controllare statisticamente lo spazio. Ciò è dovuto all'insufficienza dell'analisi topologica, insufficienza che non permette di prendere in conto lo spazio nella sua globalità e di restituire così attraverso l'analisi le sue proprietà di composizione.

Da un paragone tra i principi essenziali di un codice grafico — ereditati dall'antichità greco-romana — e il *logiciel informatique* attualmente esistente emerge l'impressione che ci troviamo probabilmente « alla fine dell'inizio »: infatti i programmi più diffusi in tutti i tipi di elaboratore non sono che una fase di prova. In questo contesto, la grafica realizzabile sotto forma interattiva può dar luogo a una vera e propria disciplina in grado di proporre un'autentica modellizzazione grafica a partire dall'analisi di dati geografici.

(9) Cf. R. BRUNET, *La composition des modèles dans l'analyse spatiale*, « L'Espace Géogr. », Paris, 1980, pp. 253-265.

AUTOMATIC CARTOGRAPHY — When comparing the progress made in the field of printing and engraving to the one in the field of reproduction we realize how modest has been the former: a computer is a safe means to make printing and engraving advance provided that we master the cartographical methodology in the frame of graphic semeiology.

A very frequent obstacle we meet in geography is the difficulty in controlling the space statistically. It is due to an insufficiency of topological analysis which does not enable us to take into consideration the space as a whole and thus giving back its composition properties by analysis.

A comparison between the fundamental principles of a graphic code which we have inherited from the Greco-Roman antiquity and the *logiciel informatique* existing at present gives the impression that most likely we are «in the end of the beginning». As a matter of fact the most diffused programmes in any kind of computer are nothing but a trial phase. In this frame the printing and engraving which we can realize in an interactive form can originate a real discipline that is in a position to propose a true range of graphic patterns starting from the analysis of geographical data.

Ginevra, Dipartimento di Geografia dell'Università.