

DES TRANSFORMATIONS CARTOGRAPHIQUES

Colette Cauvin *

RÉSUMÉ. Cet article présente un des apports de l'informatique à la cartographie, les transformations cartographiques, en distinguant celles qui sont liées au changement d'état de la carte de celles qui introduisent des modifications dans les positions des lieux.

ABSTRACT. By differentiating between those transformations which are linked to changes in the state of a map and those which introduce alterations in the bearings of an area, this article reveals one of computer technology's contributions to the field of cartography, cartographic alterations.

RESUMEN. Este artículo presenta una de las contribuciones de la informática a la cartografía, las transformaciones cartográficas, haciendo una distinción entre aquellas que están juntas con el cambio de situación del mapa y aquellas que introducen modificaciones de las posiciones de los lugares.

• ANAMORPHOSE • FORME • TRANSFORMATION

• TRANSFORMATION • ANAMORPHOSIS • SHAPE

• ANAMORFOSIS • FORMA • TRANSFORMACIÓN

«Cartographie», comme «art» ou «médecine», est devenu ces dernières années un terme indissociable de celui d'ordinateur, en particulier avec l'arrivée de la micro-informatique – bien que les premiers logiciels en ce domaine datent déjà des années 1960, tel le célèbre SYMAP d'Howard Fisher en 1963. Or l'informatique a conduit aussi bien vers des améliorations ou des ouvertures que vers des altérations, des fermetures, voire des catastrophes : sous prétexte d'appliquer un logiciel, toute sortie graphique passe pour bonne ! Il suffit pour s'en convaincre de regarder certaines publications récentes d'atlas. Cependant, dans cet article, nous voudrions

souligner essentiellement les apports positifs de l'ordinateur à la cartographie et non les déviations liées au manque de connaissance, de savoir-faire et de jugement.

Précisons alors tout d'abord que, pour nous, l'informatique a modifié la cartographie sur trois plans fondamentaux, à savoir les techniques, les méthodes et les concepts, en agissant de trois manières distinctes, comme l'indique la figure 1 : en répétant et améliorant (rapidité, qualité...) des procédés déjà connus, en autorisant la production de nouveaux documents à partir de méthodes connues mais non réalisables manuellement, enfin en introduisant des nouveautés totales, dont seul l'ordinateur a permis la conception.

Nous n'aborderons ici que les deux derniers volets. *L'informatique a renouvelé la manière de penser en cartographie, discipline qui est devenue une science à*

Effets des apports Plans des apports	Répétitions/ améliorations des activités anciennes	Réalisations nouvelles à partir d'idées anciennes	Créations, nouveautés totales
Concepts			
Méthodes			
Techniques			

1. Plans et effets des apports de l'informatique

* Université de Strasbourg, Laboratoire Image et Ville, 3 rue de l'Argonne, 67 000 Strasbourg, fax : 03 88 45 33 88, E-mail : colette@lorraine.u-strasbourg.fr

part entière, discipline de recherche conduisant tout autant à « construire » l'espace qu'à le visualiser. Les constructions obtenues permettent d'appréhender l'espace de l'intérieur, de « voir au travers », comme les rayons X ont permis à Wilhelm Röntgen, pour la première fois en 1885, de radiographier une main. Un type particulier de ces constructions est constitué par les transformations cartographiques.

Quelques familles de transformations cartographiques

Étymologiquement, le terme *transformation* signifie changement de forme, mais cette définition est ambiguë en raison du mot *forme* lui-même. Nous lui associerons toujours le qualificatif *cartographique* car ici les modifications se rapportent à la carte, mais nous en distinguerons deux grandes familles, correspondant en fait à deux acceptions du mot *forme* (1) : les transformations cartographiques d'état, les transformations cartographiques de position.

Les *transformations cartographiques d'état* incluent tous les procédés qui permettent, soit de changer l'implantation géométrique de la carte, soit de modifier la carte elle-même, en passant d'une représentation analogique à une représentation numérique (fig. 2). Dans cette famille, les changements s'effectuent en quelque sorte sans transition visible, et correspondent ainsi à des métamorphoses ; comme une chenille devient papillon, une carte dessinée sur papier devient un tableau de nombres stocké dans un fichier.

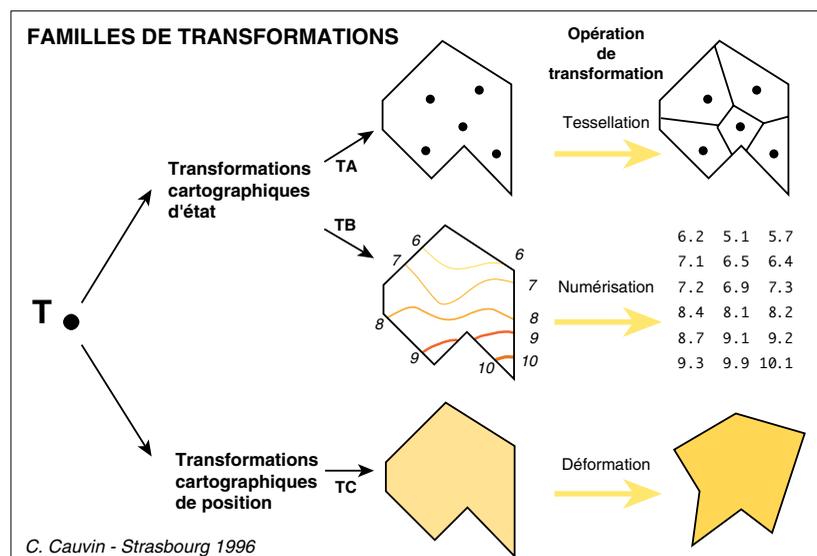
Les exemples de transformations de ce type sont bien connus et déjà anciens grâce aux travaux de W. Tobler en

1967, mais ils se sont multipliés et deviennent de plus en plus aisés grâce aux techniques développées dans les systèmes d'information géographique. Tessellation, interpolation, lissage, passage d'une carte à une matrice ou un graphe et inversement sont actuellement des opérations courantes, indispensables au renouvellement de la cartographie, intégrées au développement des systèmes d'information géographique, mettant en évidence les structures sous-jacentes des phénomènes spatiaux étudiés.

Les *transformations cartographiques de position* (2) sont tout aussi utiles, mais elles sont moins connues, connotées et bien souvent mal ou incomplètement utilisées. Dans ce cas, ce sont les formes de la carte, au sens complet du terme *forme* (3), qui se modifient, c'est-à-dire les contours externes et les positions des points des lieux retenus (4). Notre attention s'est plus spécifiquement portée sur cette deuxième famille de transformations, où différents groupes peuvent être reconnus.

Transformations cartographiques de position (5)

Pour certains chercheurs, ces méthodes ont seulement pour but d'améliorer la visualisation des phénomènes. Ceci nous paraît très réducteur par rapport à leurs possibilités ; en effet, ces transformations sont issues de modèles venant souvent d'autres disciplines (biologie ou génie civil), et ont pour but de *faire apparaître des relations sous-jacentes, d'extraire des caractéristiques non visibles directement*. Il convient donc d'être capable d'effectuer le transfert du modèle, d'évaluer les équivalences, d'établir



2. Types de transformations cartographiques

En TA et TB, l'état de la carte est modifié. En TA par une opération de tessellation (type Thiessen), on passe d'un semis de points à une couverture de l'espace avec partition reposant sur un principe de proximité spatiale. En TB, la carte isoplèthe de type analogique est transformée en un tableau de nombres sur lequel diverses opérations sont possibles (lissages, filtrages...), conduisant, éventuellement, à une nouvelle carte isoplèthe, ou une carte par carroyage, par exemple. Enfin, en TC, on trouve une tout autre transformation ; les positions des points du contour ont été modifiées sous l'effet d'une force quelconque ; certains points sont rapprochés, d'autres éloignés : la forme elle-même est changée.

l'adéquation entre les hypothèses thématiques et les contraintes des modèles. Indépendamment des projections cartographiques, premier type d'anamorphose (6) inhérent à la production de toute carte, nous distinguerons ici deux grands groupes.

Les *transformations thématiques* (7) s'individualisent par le fait que c'est la variable à représenter qui impose les déformations. Elle peut exprimer un poids – dans ce cas on parlera de *transformations thématiques de poids* (fig. 3) –, ou un lien, induisant les *transformations thématiques de liens*. Le premier type fait appel, en particulier, à des modèles issus du génie civil avec les méthodes d'étude de la résistance des matériaux. La surface géographique, assimilée à un matériau d'épaisseur réduite, est décomposée en un ensemble d'éléments finis sur lesquels des forces – les variables thématiques – sont appliquées. Les éléments se dilatent ou se contractent selon que les valeurs sont supérieures ou inférieures à la moyenne de la variable (Cauvin, Schneider, 1989).

Les transformations thématiques de liens permettent de trouver les positions relatives de lieux lorsque l'on connaît les liaisons (distances, proximités, similarités) entre toutes les paires de points; elles s'appuient sur des modèles statistiques venant de la psychologie comme les analyses multidimensionnelles des proximités (Kruskal, 1964, Guttman, 1968), ou de la géographie, avec la trilatération (Tobler, 1977) et la cartographie élastique (Muller, 1982). Cependant, d'autres procédés existent qui visent essentiellement à montrer des changements, des différences.

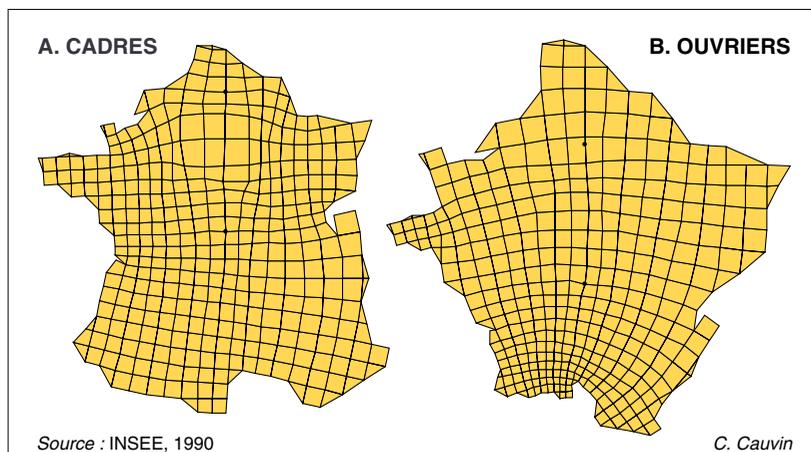
Les *transformations différentielles* ont pour but de faire apparaître les écarts entre deux figures ou entre une image

et un référentiel, soit en partant d'un point de vue choisi (transformations unipolaires selon divers procédés) (8), soit en retenant l'ensemble des points (transformations multipolaires). Ce dernier type, proposé par Waldo Tobler (1978) est initialement issu des travaux de d'Arcy Thompson sur la croissance et la forme (1948), mais des méthodes dérivées se sont développées ces dernières années avec quelques variantes mineures (Boutoura, Livierato, 1986; Wegener, 1994; ou Langlois, Denain, 1995).

Comme on le voit, les procédures sont nombreuses, mais aucune n'est une panacée; aucune ne peut répondre à tous les problèmes posés. Ce sont en fait des constructions d'espaces, en particulier dans le cas de la cartographie élastique, ou la mise en évidence d'espaces sous-jacents, de différences de structure. À partir de modèles bien précis, toute personne, acceptant les hypothèses émises, pourra obtenir avec les mêmes données des résultats identiques; cette reproductibilité leur donne un poids très fort. Elles permettent les comparaisons, une compréhension de certains phénomènes géographiques par la mise en relief des différences, et surtout elles ont ouvert et ouvrent encore des voies d'approche pour les dynamiques, les changements spatiaux. Elles constituent donc pour la cartographie des orientations nouvelles (ou partiellement nouvelles), *parmi d'autres*, grâce à l'informatique.

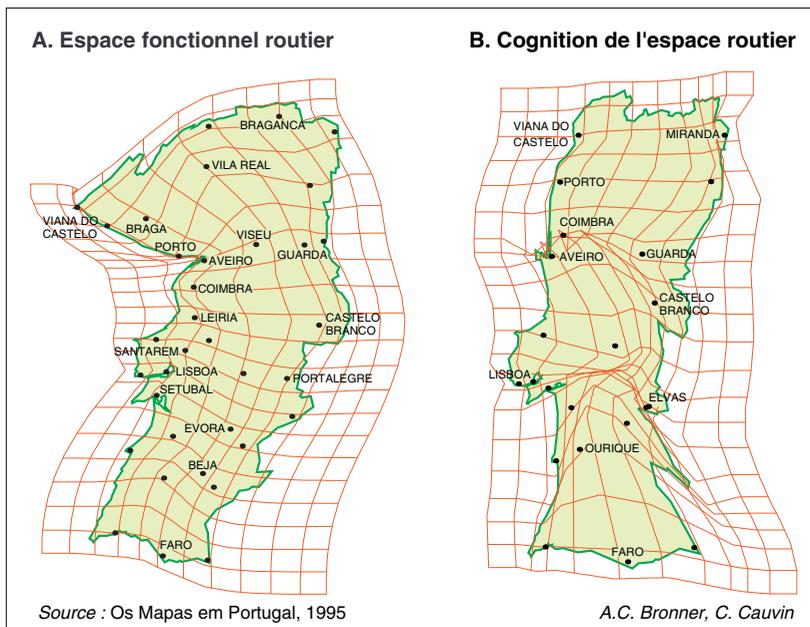
(1) Précisons que ce vocabulaire est seulement un vocabulaire de travail, qui a évolué et peut encore évoluer en fonction des avancées dans ces domaines de recherche.

(2) L'expression nouvelle retenue ici pour qualifier ce type de transformation vient du fait que le terme «morph-» choisi initialement était par trop redondant avec transformation, et que le mot «spatial» sélectionné ultérieurement est utilisé dans des acceptions multiples entraînant des ambiguïtés. *Position* nous paraît actuellement comme



3. Transformations thématiques de poids

Les cartes piézoplèthes présentées ici ont été établies avec le programme Anaplaste développé par O. Kapps sur Macintosh. La première souligne que la répartition des cadres en pourcentage dans les régions françaises a tendance à être proportionnelle à la population totale, avec toutefois un sur-nombre à Paris et dans le Midi, alors que celle des ouvriers fait apparaître une opposition entre une France du Nord et du Nord-Est et une France du Sud.



4. Transformations différentielles multi-polaires

Les deux cartes ont été dressées selon la méthode de la régression bidimensionnelle développée par Waldo Tobler (1977) et le programme Darcy associé. La première provient de la comparaison des positions géographiques de 35 villes du Portugal et de leurs positions relatives homologues obtenues par analyse multidimensionnelle des proximités (programme KYST), à partir d'un tableau des distances-temps routières. La seconde a été établie en confrontant ces mêmes positions géographiques avec les localisations dessinées par une étudiante sur un dessin à main levée. La première exprime l'espace fonctionnel routier du Portugal et la seconde un espace routier cognitif d'un individu pour ce même pays, mais les documents demeurent comparables.

le terme le plus satisfaisant, équivalent à « coordonnées » de d'Arcy Thompson (1917, 1948).

(3) Le terme *forme* est parfois réservé aux contours extérieurs d'un objet. Nous le prenons ici dans son sens plein, c'est-à-dire qu'il inclut cette enveloppe externe et tous les points contenus à l'intérieur comme l'indique Emile Noël (1994), sans oublier les éventuelles limites internes.

(4) Ce groupe s'inscrit dans les transformations que René Thom (1992) appelle « transformation réelle non liée à un déplacement du point de vue de l'observateur ».

(5) Comme il s'agit avant tout de préciser nos positions de recherche, il est évident que dans cet article, bref par nécessité, il n'est pas possible de donner des exemples concrets pour tous les types de transformations identifiés ici.

(6) Terme très connoté que nous préférons éviter dans la mesure du possible, surtout dans un article aussi bref que celui-ci. Cependant le terme *anamorphose* convient bien dans ce cas, car il exprime un changement progressif, contrairement à la métamorphose qui, comme l'indique Armand de Ricqlès (1994) suppose une modification si considérable que l'objet n'est plus reconnaissable. Mais une anamorphose peut éventuellement conduire à une métamorphose.

(7) Pour éviter d'alourdir le texte, nous ne répéterons pas systématiquement les termes « cartographiques de position ».

(8) Nous distinguerons en particulier les anamorphoses de tendance dont le principal exemple est celui de Cerny (1971), des anamorphoses de différence exposées dans un article paru dans la revue *Flux* (Cauvin, 1994).

Références bibliographiques

BOUTOURA C., LIVIERATOS F., 1986, « Strain analysis for geometric comparisons of maps », *The Cartographic Journal*, vol. 23, n° 1, p. 27-34.

CAUVIN C., 1994, « Accessibilité de système et accessibilité locale », *Flux*, n° 16, p. 39-48.

CAUVIN C., 1995, « Transformações cartograficas espaciais e anamorfoses », Chapitre VII, in : DIAS M.H. (coord.), *Os mapas em Portugal. Da tradição aos novos rumos da cartografia*, Edições Cosmos, p. 267-310.

CAUVIN C., SCHNEIDER C., 1989, « Cartographic transformations and the piezopleth maps », *The Cartographical Journal*, vol. 26, p. 96-104.

CERNY J.W., 1971, « A computer program for azimuthal map transformation », *The Professional Geographer*, p. 144-145.

D'ARCY THOMPSON W., 1948, *On growth and form*, New York : MacMillan, 1116 p.

FISHER H., 1963-1965, *SYMAP program*, Cambridge (Ma) : Harvard Univ.

GUTTMANN L., 1968, « A general non metric technique for finding the smallest coordinate space for a configuration of points », *Psychometrika*, vol. 33, p. 469-506.

KRUSKAL J.B., 1964, « Non metric multidimensional scaling : a numerical method », *Psychometrika*, vol. 29, p. 115-129.

LANGLOIS P., DENAIN, C., 1995, *Apports et limites de la cartographie en anamorphose*, Spa/Rouen : 9^e colloque de Géographie Théorique et Quantitative, p. 58-73.

MULLER J.C., 1982, « Non euclidean geographic spaces : mapping functional distances », *Geographical Analysis*, vol. 14, n° 3, p. 189-203.

NOEL E., 1994, « Introduction », in : collectif, *Les Sciences de la forme aujourd'hui*, Paris : Éditions du Seuil, 190 p.

RICQLES A., 1994, « L'évolution des formes », In : Collectif, *Les sciences de la forme aujourd'hui*, Paris : Éditions du Seuil, 190 p.

TOBLER W., 1967, « Of maps and matrices », *Journal of Regional Science*, vol. 7, n° 2, p. 275-280.

TOBLER W., 1977, *Bidimensional regression : a computer program*, Santa Barbara, 71 p. ronéotées.

TOBLER W., 1977, *The Trilateration problem*, Notes de lecture, 8 p. ronéotées.

TOM R., 1992, « Pouvoirs de la forme », in : Gayon J. et al., *Les Figures de la forme*, Paris : L'Harmattan, p. 17-26.

WEGENER M., 1994, *Transport and spatial organisation of cities : synthesis of theories and models*, Besançon : Premières rencontres de Théo Quant, IRADES, Université de Franche-Comté.