

CARTOGRAPHIE THEORIQUE ET ANAMORPHOSES

Colette CAUVIN

Université de Strasbourg - URA 902 CNRS "Image et Ville"

Résumé

Les transformations cartographiques spatiales, ou anamorphoses, sont proposées ici comme approches nouvelles en cartographie afin de faire apparaître les structures cachées des espaces qui nous entourent. Une classification en deux familles principales permet d'en préciser les bases théoriques, les principes, les contraintes et les limites, tout en soulignant le rôle de ces transformations comme moyen de communication et comme outil d'analyse spatiale.

Introduction

La cartographie thématique propose la plupart du temps des représentations du type "système de report". Cette démarche sous-entend que l'espace est neutre ; elle ne conduit pas à une représentation unique d'un phénomène donné puisque les choix graphiques sont multiples. Or, une carte est une construction qui devrait toujours donner un résultat unique, une fois les hypothèses thématiques et les contraintes cartographiques définies. Chaque carte est un modèle plus ou moins complexe d'une partie du monde, monde que l'on observe ou monde sous-jacent que l'on doit révéler. Des approches nouvelles - les transformations cartographiques - existent pour exprimer ces caractéristiques cachées des espaces qui nous entourent et que nous utilisons. Cette expression "transformation cartographique", signifie littéralement "changement de forme lié à une carte", et qualifie de nombreuses méthodes que l'on peut regrouper en deux familles :

- les transformations où le changement de forme est lié au traitement des variables thématiques plus ou moins indépendamment du support spatial (modèle de potentiel, algèbre de cartes, ...)
- les transformations où ce sont les contours apparents de la forme spatiale qui subissent des modifications. La transformation de la "configuration spatiale"¹ est alors "une transformation réelle non liée à un déplacement du point de vue de l'observateur"[1].

Ce sont ces transformations cartographiques spatiales, dénommées aussi "anamorphoses", et leur classification qui nous intéressent ici.

1 Approche théorique des transformations cartographiques spatiales

Les transformations cartographiques spatiales sont inhérentes à l'élaboration de toute carte. En effet, il est strictement impossible de passer sans déformation de la terre, objet tridimensionnel, à une représentation sur un plan, bidimensionnel. Des altérations existent nécessairement, connues, contrôlées, mais toujours présentes. Cependant, au-delà de cette transformation obligatoire, quels sont les avantages, les utilisations potentielles et les critères possibles de classification des transformations cartographiques spatiales annoncées ?

Elles présentent des avantages indéniables. D'une part, au niveau de la communication, elles utilisent les variations de surface pour transmettre une information ; or, des tests en perception graphique et des recherches en cartographie [2] ont souligné que le lecteur enregistrait en premier des formes, et qu'il était particulièrement sensible aux variations de surface pour différencier les éléments des images. Les anamorphoses montrent des tendances, des ensembles, facilitant la lecture et améliorant l'efficacité de la communication. D'autre part, si l'on retient avec C. Board [3] que la carte peut être considérée comme un modèle conceptuel "du monde réel", la carte devient un outil d'analyse et de compréhension de l'espace ; les transformations

¹ Au sens de R. Thom [1] par opposition à la forme logique ou la forme comme principe vital.

sont alors des constructions mathématiques qui conduisent à des solutions reproductibles par tous, exprimant de manière unique des caractéristiques visibles ou invisibles des espaces étudiés. Ainsi, les transformations cartographiques spatiales regroupent des méthodes impliquant le passage, par une opération mathématique, d'une forme d'un espace à une autre forme du même espace, en privilégiant les changements des localisants spatiaux ; mais il en existe différentes familles qui peuvent être classées selon certains critères.

Notre typologie des méthodes d'anamorphoses repose sur la manière dont les attributs thématiques ou spatiaux sont pris en compte et sur le but de la transformation. Les transformations s'effectuent soit parce que des variables thématiques agissent sur l'espace, qui désormais n'est plus considéré comme neutre, soit parce que des localisants homologues sont comparés et que l'on cherche à en montrer les différences. La première famille est celle des transformations cartographiques spatio-thématiques² ; les attributs pris en compte sont considérés comme des poids appliqués sur une surface, ou comme des liens entre lieux. Le deuxième groupe traduit des différences - écarts ou tendances - entre images résultant de données spatiales ou thématiques diverses ; les transformations sont alors appelées "spatio-différentielles".

2 Transformations cartographiques spatio-thématiques

Dans ces transformations, on s'intéresse à ce qui se passe lorsque les valeurs thématiques Z des phénomènes étudiés sont appliquées, et non plus reportées, sur un fond de carte donné. Les attributs sont considérés soit comme des poids, soit comme des liens.

2.1 Transformations spatio-thématiques de poids

Les principaux procédés retenus sont les cartogrammes, les cartes piézoplèthes, les pseudo-cartogrammes et les projections polyfocales.

Les cartogrammes "classiques" sont des solutions graphiques qui ne conduisent pas à une solution unique, reproductible par tous, comme nous l'avons précisé dans des travaux antérieurs [4]. Cependant, les travaux actuels de D. Dorling [5] conduisent à revoir ce point de vue, car en introduisant des contraintes complémentaires (conservation du périmètre, ...), il semble que l'on s'achemine vers des solutions uniques. Ces nouvelles propositions, sous réserve de tests, semblent très intéressantes au niveau de la communication cartographique.

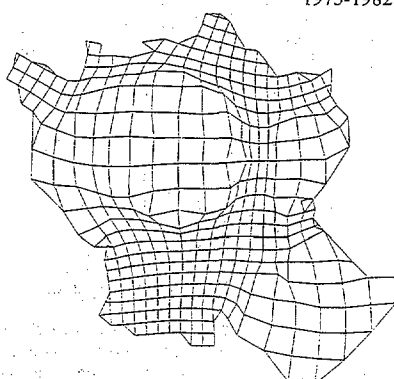
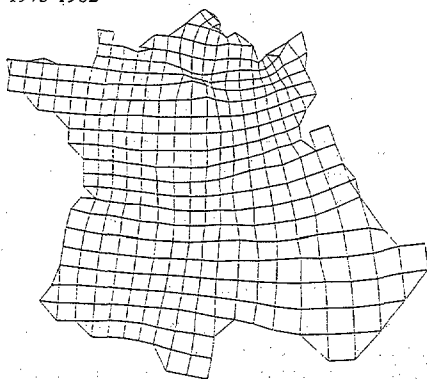
Les cartes piézoplèthes, quant à elles, correspondent à des modèles mathématiques reposant sur des hypothèses précises avec des équivalences à effectuer entre le domaine originel d'utilisation (le calcul des structures en résistance des matériaux) et le thème cartographique étudié. Le principe, exposé dans plusieurs articles [6], peut être résumé de la manière suivante : la carte, assimilée à une surface physique d'épaisseur constante, constituée d'un matériau donné, est décomposée en éléments finis, généralisés en un ensemble de mailles carrées ou triangulaires. Les zones géographiques étudiées (régions, ...) sont déterminées par le regroupement d'un certain nombre de mailles. La variable thématique retenue (population, ...) est appliquée sur cette surface comme une force qui provoque en certains points des contractions ou des dilatations du matériau ; ces forces sont ensuite réparties continûment sur l'ensemble de la surface, ce qui implique, comme première contrainte, la continuité du phénomène thématique. Il faut préciser, de plus, que ces cartes sont construites de telle manière que la taille de la maille de base, avant déformation, correspond à la valeur moyenne de la variable thématique. Les mailles sont plus grandes lorsque le phénomène représente des valeurs supérieures à cette moyenne et inversement. Ne peuvent être représentés par cette méthode - deuxième contrainte - que des phénomènes relevés selon un niveau de mesure quantitatif. Ce type de représentation permet de montrer des tendances et de faire apparaître des caractéristiques sous-jacentes.


² Il s'agit essentiellement d'un vocabulaire de travail destiné à faciliter la compréhension des méthodes exposées ; en fonction de l'avancement des recherches, les termes pourront être modifiés.

Un exemple sur les mouvements de population en France illustre cette méthode (Figure 1). La première carte montre le solde migratoire interrégional entre 1975 et 1982. Le Nord, la Région Parisienne et la Lorraine, zones déficitaires, s'opposent, par leur aspect rétréci, à la Provence Côte d'Azur qui, élargie, exprime un bilan excédentaire. La carte de la mobilité des populations indique une multipolarité ; les petits carrés soulignent la quasi absence de mouvements entre 1975 et 1982 alors que les mailles dilatées traduisent des échanges importants qui conduisent à un bilan faiblement positif dans le Centre Ouest ou à l'Est mais un solde très élevé dans le Sud-Est. Ces deux cartes se complètent et font comprendre les relations entre bilan et turbulence migratoires. Elles seront identiques quel que soit le cartographe et se mémorisent aisément. Le référentiel étant le même, elles sont toujours comparables pour un espace donné.

Régions Françaises
Solde migratoire
1975-1982

Régions Françaises
Mobilité interrégionale
1975-1982



 maille de base
= valeur moyenne de la variable

Mij : mouvement de population de la région i vers la région j
Solde migratoire = $M_{ij} - M_{ji}$ Mobilité = $M_{ij} + M_{ji}$

Procédé STRUCT conçu par C. Schneider
et programmé par J. Hirsch et G. Cherrier

Source INSEE 1982
Cartes établies par C. Cauvin

Figure 1 : Cartes piézo-pléthés - Solde migratoire et mobilité en France.

Enfin, deux autres méthodes entrent dans ce groupe, mais nous ne ferons que citer les car nous n'avons pas eu la possibilité de les tester ; il s'agit de toutes les méthodes de cette famille est de trouver le Tobler [7] et des projections polyfocales de N. Kadmon et E. Shlomi [8].

Dans les différents cas que nous venons d'exposer, l'attribut est considéré comme un poids ; un deuxième ensemble de méthodes prend en compte au contraire les liens entre les lieux

2.2 Transformations spatio-thématiques de liens

Désormais, les données utilisées pour exprimer les caractéristiques d'un espace sont les liens entre les lieux qui le constituent. Le tableau initial est une matrice contenant des valeurs exprimant la force des liens. Le principe de toutes les méthodes de cette famille est de trouver les coordonnées des lieux ; connaissant les distances (i.e. les liens) qui séparent chaque paire de lieux. Pour ce faire, on calcule ou l'on sélectionne une fonction distance qui exprime la structure de l'espace sous-jacent. Les analyses multidimensionnelles des proximités, et les méthodes apparentées [9] conduisent à l'obtention de configurations spatiales, au sens mathématique du terme, où les points figurent les positions relatives des lieux. Elles sont excellentes pour extraire

une information non visible directement mais le choix, ou le calcul de la fonction distance est fondamental, car les résultats en sont affectés comme le montre l'exemple de la figure 2.

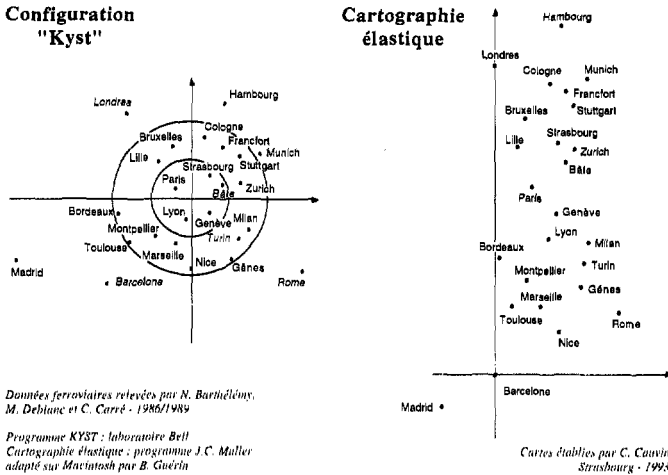


Figure 2 : Configurations spatiales - Accessibilité ferroviaire en Europe en 1986/89

Dans la configuration obtenue, par exemple, par le programme "kyst", la distance choisie est une distance euclidienne ; des cercles successifs traduisent la sphère caractéristique de cette distance. La cartographie élastique, plus riche dans son équation, permet avec les mêmes données initiales une meilleure approximation et une lecture plus complète de la structure spatiale grâce à trois paramètres : l'exposant de la métrique (3,18), celui de la linéarité de l'espace (1,06) et les coefficients exprimant l'asymétrie (rapport de 1 à 3 en faveur d'un plus grand étirement selon l'axe des Y, donc d'une moins bonne accessibilité, dans le sens NS). Mais ces méthodes ne permettent pas de comparaison avec les espaces de référence et servent surtout d'outils d'analyse. C'est pourquoi, elles doivent être complétées, en particulier par certaines transformations spatio-différentielles.

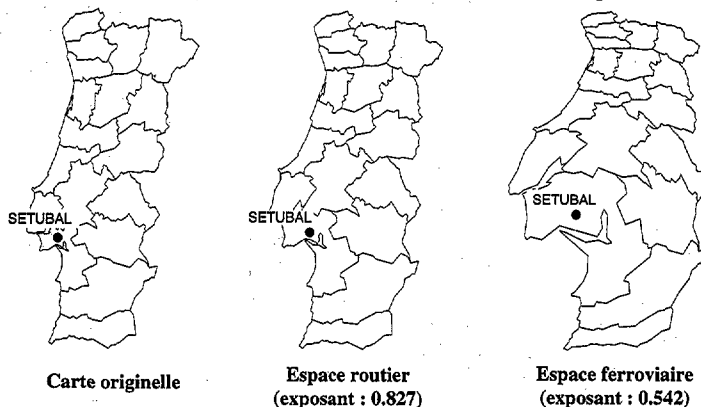
3 Transformations spatio-différentielles

En effet, ces transformations ont pour but soit de dégager seulement les tendances soit au contraire souligner les différences d'espaces à espaces.

3.1 Transformations spatio-différentielles de tendance

Il s'agit de transformations unipolaires, à partir d'un lieu. Le principe en est le suivant : on dispose de distances de référence (orthodromies par exemple) à partir d'un point origine et de distances ou d'un poids thématiques liés à ce point. Il peut s'agir de distance temps, de distance coût, de densité... On cherche la fonction qui ajuste au mieux les deux variables. On construit alors la carte en transformant les distances initiales par la fonction trouvée. L'interprétation varie considérablement selon le thème. Ainsi dans la figure 3, il s'agit des distances temps par la route ou le rail au Portugal à partir de Setubal. Dans les deux cas, c'est une fonction puissance qui a été retenue, mais pour le train l'exposant est de .54, alors que par la route, avec une valeur de .827, il se rapproche de la linéarité. En conséquence, l'anamorphose routière est à peine élargie

dans la région de Setubal, alors que l'image ferroviaire souligne que la zone autour de cette ville est difficile à traverser, mais que, à partir d'une certaine distance, l'effet "repoussoir" s'atténue.



Programme Azmap, adapté par J. Hirsch

Cartes établies par C. Cawin, Strasbourg 1995

Figure 3 : Anamorphose unipolaire de tendance - L'exemple de Setubal (Portugal)

Ce type de transformation est sans doute plus intéressant pour montrer le lien qui existe entre la densité et l'éloignement du centre en milieu urbain ou pour faciliter la mise en place de symboles dans les zones trop denses comme l'indique l'article de C. Boutoura avec la ville de Volos [10]. Cependant ces méthodes dont les programmes dérivent presque toutes des travaux de J. W. Cerny [11] n'indiquent que les tendances, puisque c'est la fonction d'ajustement elle-même qui est représentée ; elles posent au niveau de la lecture un problème de lien entre la fonction retenue, qui s'interprète aisément, et l'image obtenue. Ces difficultés sont considérablement réduites avec les transformations spatio-différentielles de comparaison.

3.2 Transformations spatio-différentielles de comparaison

Ces transformations permettent de souligner les écarts, et non les tendances, entre un espace de référence et un espace homologue, ou entre des espaces homologues, soit en prenant un lieu origine, soit au contraire en retenant tous les lieux simultanément.

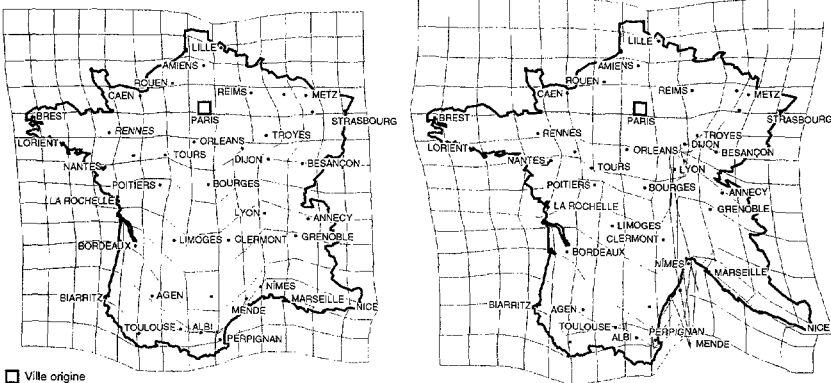
Partant de deux ensembles, une image de référence avec des points de coordonnées [XY] et une configuration image avec des points homologues de coordonnées [UV], les méthodes comprennent, toutes, deux étapes : la première vise à trouver, soit par calcul exact, soit par ajustement, les écarts des positions des points homologues connus des deux ensembles (par exemple, les positions géographiques et les positions cognitives ou les positions en temps) ; la seconde permet d'étendre les résultats à l'ensemble de la zone étudiée et d'obtenir une anamorphose exprimant les distorsions entre les deux images.

Pour les anamorphoses unipolaires de ce type, les écarts sont obtenus par calcul. On dispose de deux vecteurs avec le même lieu origine ; on établit une équivalence entre les mesures des deux ensembles en calculant un coefficient de pondération, puis la norme et l'angle du vecteur exprimant l'écart entre la première et la deuxième position de chaque point à partir du point origine, comme nous l'avons déjà exposé [12]. Pour les anamorphoses multipolaires, conçues initialement par W. Tobler (régression bidimensionnelle) [13], la première étape est un ajustement qui comprend une translation, une rotation et un changement d'échelle de telle

manière que les points ajustés de la configuration image soient le plus près possible de ceux de la configuration de référence. Dans les deux cas, une interpolation permet ensuite d'étendre les résultats à l'ensemble de la zone. Les applications sont multiples et diverses [14].

Espace routier 1986

Espace ferroviaire 1986



Sources : Carte Michelin 1986, S.N.C.F. 1986

Carte établie par C. CAUVIN, A.C. BRONNER

Bases de données établies par P. Blot, S. Merklng, C. Laffaye

Strasbourg 1990-1995

Méthodes : isodistances et régression bidimensionnelle (Programmes ISODIST - C. Cauvin, J. Hirsch- et DARCY - W. Tobler, adaptation A. Serradj, D. Badaricotti, J. Hirsch)

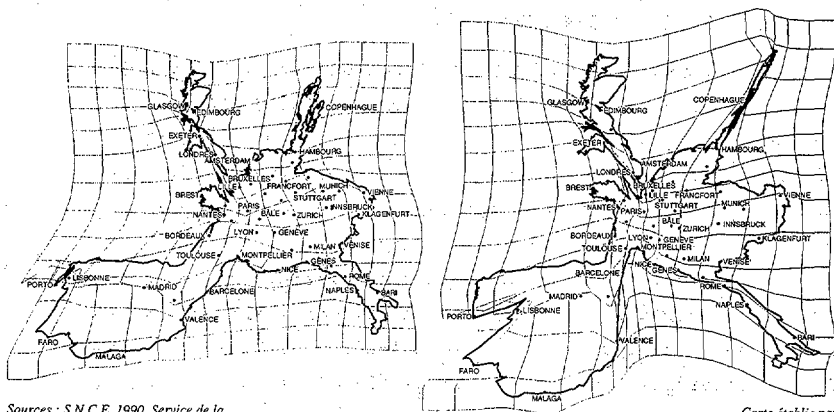
Figure 4 : Transformation spatio-différentielle de comparaison unipolaire
L'exemple des réseaux routier et ferroviaire à partir de Paris en 1986/87

L'exemple d'anamorphose unipolaire (figure 4) présente une comparaison des accessibilités ferroviaire et routier françaises en 1986/87 à partir de Paris. L'espace routier est quasiment homogène ; seules les villes du Massif Central sont mal reliées. L'anamorphose ferroviaire correspondante donne une image beaucoup plus contrastée où la mise en place de la ligne TGV Paris-Lyon induit une remontée de la zone Marseille Nîmes, en direction de Lyon et de Paris, alors que l'autre côté du Massif Central, avec Bordeaux et Poitiers, ne subit presque aucune déformation. Cependant des zones complexes apparaissent en raison de leur mauvaise intégration au réseau ferroviaire de cette époque, comme le Massif Central avec Mende.

L'exemple des anamorphoses multipolaires de comparaison porte sur l'accessibilité ferroviaire en l'Europe de l'Ouest en 1989 et en 2015 (figure 5). En 1989, la Péninsule Ibérique, en raison des Pyrénées, et la Grande Bretagne sont nettement à l'écart du cœur européen centré sur Paris. Avec l'introduction des lignes à grande vitesse, des contrastes plus marqués apparaissent entre le Portugal, le Sud de l'Italie avec Bari, le Danemark, mal reliés, et le centre européen qui se resserre avec des villes plus nombreuses.

Conclusion

Il apparaît donc bien à l'issue de ce bref essai pour proposer une typologie des transformations cartographiques spatiales qu'il existe un grand nombre de méthodes répondant à des problèmes bien spécifiques. Il n'y a pas l'anamorphose, point final, mais on dispose de plusieurs types de transformations dont il convient de connaître les contraintes, les limites et les possibilités d'utilisation. Cette présentation se veut seulement une première tentative de mise en place d'un cadre théorique d'une voie possible pour des approches nouvelles des constructions cartographiques joignant deux fonctions fondamentales de la carte : être un véhicule d'information et un outil d'analyse spatiale.



Sources : S.N.C.F. 1990, Service de la prospective et de la grande vitesse, Thomas Cook 1988/1989
Bases de données établies par N. Barthélémy et M. Deblanc

Carte établie par
C. CAUVIN, A.C. BRONNER
Strasbourg 1990-1995

Méthodes : analyse des proximités et régression bidimensionnelle (Programmes KYST - Laboratoire Belh. et DARCY-W. Tobler, adaptation A. Serradi, D. Badarioni, J. Hirsch)

Figure 5 : Transformation spatio-différentielle de comparaison multipolaire
L'exemple du réseau ferroviaire ouest européen en 1989 et 2015

Remerciements

Nous tenons à remercier Anne-Christine Bronner pour sa précieuse collaboration lors de l'élaboration et de la mise en page des documents cartographiques.

Références bibliographiques

- [1] Thom, R., 1992. Pouvoirs de la forme. In : Gayon, J., et al. Les figures de la forme, L'Harmattan, pp. 17-26, Paris.
- [2] Rimbart, S., 1968. Leçons de cartographie thématique. SEDES, 139 p., Paris.
- [3] Dobson, M.W., 1980. The influence of the amount of graphic information on visual matching. The Cartographic Journal, Vol. 17, n° 1, pp. 26-32.
- [4] Board, C., 1967. Maps as models, In "Models in geography". Chorley, R.J., et al.) Methuen & co, Ch. 16, pp. 671-725.
- [5] Cauvin, C., 1992/94. Transformações cartograficas espaciais e anamorfoses. Ch. VII, In : Os mapas em Portugal. De tradiçao aos novos rumos da cartografia, publié sous la dir. de Dias, M.H., 30 p.
- [6] Dorling, D., 1995. Visualizing changing social structure from a census. Environment and Planning A, Vol. 27, pp. 353-378.
- [7] Cauvin, C., Schneider, C., 1989. (avec la coll. de G. Cherrier), Cartographic transformations and the piezopleth maps method. The cartographic Journal, Vol. 26, pp. 96-104.
- [8] Tobler, W., 1986. Pseudo-cartograms. The American Cartographer, Vol. 13, n° 7, pp. 43-50.
- [9] Kadmon, N., Shlomi, E., 1978. A polyfocal projection for statistical surfaces. The Cartographic Journal, Vol. 15, n° 1, pp. 36-41.
- [10] Muller, J.C., 1982. Non euclidean geographic spaces : mapping functional distances. Geographical Analysis, Vol. 14, n° 3, pp. 189-203.
- [11] Wegener, M., 1994. Transport and spatial organisation of cities : synthesis of theories and models. Premières rencontres de Théo Quant. TRADES, Université de Franche Comté, 24 p.
- [12] Boutoura, C., 1994. Logarithmic urban thematic mapping in MIS environment. Cartographica, Vol. 31, n° 1, pp. 41-53.
- [13] Cerny, J.W., 1971. A computer program for azimuthal map transformation. Professional Geographer, pp. 144-145
- [14] Cauvin, C., 1994. Accessibilité de système et accessibilité locale. Revue Flux, n° 16, pp. 39-48.
- [15] Tobler, W., 1977. Bidimensional regression : a computer programm. University of Santa Barbara, 71 p. pol.
- [16] Cauvin, C., 1984. Etude des configurations cognitives intra-urbaines : aspects méthodologiques. Thèse d'Etat, vol. 4, 213 p., Strasbourg.