

Pierre DUMOLARD

RESUME CARTGRL est un logiciel simple d'expérimentation cartographique sur micro-ordinateur standard. Ce logiciel gère des fonds de carte de type raster. Les illustrations portent sur le chômage en France.

ABSTRACT CARTGRL is an easy-to-use software to create maps on a standard micro-computer. It is a raster-oriented software. The maps present unemployment in France.

RESUMEN CARTGRL es un logicial simple de experimentación cartográfica sobre micro-ordenador estandard. Este logicial nos permite elaborar una base cartográfica de tipo « raster ». Las ilustraciones presentan el desempleo en Francia.

• CARTGRL • FRANCE • LOGICIEL • MICRO-ORDINATEUR

• CARTGRL • FRANCE • MICROCOMPUTER • SOFTWARE

• CARTGRL • FRANCIA • LOGICIAL • MICRO-ORDENADOR

Un de plus dira-t-on... et cela témoigne de la relative facilité à automatiser sur les micro-ordinateurs standards d'aujourd'hui les tâches fastidieuses de la cartographie thématique. Ce genre de logiciels produit au moins des documents de travail d'une qualité graphique moins rudimentaire que précédemment, à des vitesses acceptables et à des coûts infinitésimaux. Ils permettent donc une attitude nouvelle face à la carte, obtenue par combinaisons successives de choix différents. Les cartes thématiques de documents de travail sont devenues *documents de recherche*. Un logiciel de plus, certes... mais d'abord un logiciel, c'est-à-dire un ensemble cohérent de programmes fondés sur des principes communs, échangeant et/ou partageant des flux maîtrisés d'informations clairement structurées. Cet ensemble est documenté et de manipulation aisée.

Principes de construction de CARTGRL.

La cartographie thématique est le principal outil de représentation et d'étude de la variabilité des répartitions spatiales. Or, construire une carte thématique, c'est « colorier » différenciellement un territoire en fonction des valeurs d'une variable spatialisée, c'est affecter « au mieux » un contenu à une forme préétablie (carte dite choroplèthe) ou une forme à un contenu calculé (carte dite isoplèthe).

CARTGRL ne dispose d'aucune des facilités d'un système de gestion de bases de données, d'un gestionnaire de fichiers, d'un logiciel statistique. La gestion et le traitement de l'information relèvent, à notre sens, de produits spécifiques auxquels CARTGRL doit cependant pouvoir être « interfacé » par l'intermédiaire notamment de fichiers de résultats : il est alors un des maillons terminaux d'une chaîne de traitements. Mais il doit aussi pouvoir servir à visualiser rapidement des données

« naïves » (n'ayant subi aucune transformation préalable).

Réduit à sa seule dimension de logiciel de construction et de coloriage d'images fixes, en deux dimensions éventuellement successives et/ou juxtaposées sur micro-ordinateur standard à écran monochrome de résolution correcte, CARTGRL produit cinq types de cartes, fond de carte, carte ponctuelle, carte choroplèthe, collection de cartes choroplèthes, carte isoplèthe.

Ces différents types d'images peuvent ou doivent passer par la restitution d'un fond de carte préétabli qui peut être envisagé de deux façons ; comme un dessin où l'on décrit les limites d'unités spatiales (polygones résumés par la liste des coordonnées X.Y de leurs sommets) ; comme une image à laquelle on superpose une grille plus ou moins fine pour la transformer en une matrice de codes. Dans le premier cas, la gestion, si elle est optimisée, des listes de coordonnées et le coloriage des unités spatiales sont des tâches à algorithmes non triviaux, décrits par exemple par M. Lucas. Dans le second cas, gérer une matrice de codes et en colorier les cases est chose fort aisée. Dans les deux cas, le relevé du fond de carte et sa transcription en fichier peuvent être manuels, semi-automatisés (tablettes à digitaliser), ou complètement automatiques (analyseurs d'images). Pour CARTGRL, le fond de carte est une matrice de codes ; son relevé et la constitution du fichier-fond de carte sont opérés manuellement.

Ces choix rendent la cartographie automatique accessible aux « économiquement faibles » de la recherche, pourvu qu'ils aient des idées et l'accès à un micro-ordinateur standard dont l'écran ait une résolution correcte (256 x 256 est un minimum). La rusticité des matériels mis en oeuvre nous a incité à offrir toute une économie de moyens pour la constitution, la transformation et l'utilisation d'un fichier-fond de carte relativement pénible à créer.

Principales fonctionnalités de CARTGRL

Avec ses limites de système artisanal, CARTGRL offre les types de fonctions suivantes : gestion du fond de carte, interfaçage à un fichier de données, dessin d'une ou plusieurs cartes choroplèthes, calculs a priori sur le fond ou a posteriori sur une carte.

La gestion du fond de carte-grille comprend trois parties.

La création et/ou correction d'un fichier-fond de carte, sous éditeur de textes si les unités spatiales sont des agglomérats de cases de la grille, cellules administratives par exemple, sous le programme GENRGRL si chaque case de la grille est une unité spatiale, géocodage par exemple. Dans les deux cas, chaque ligne de la grille constitue un enregistrement du fichier-fond de forme X1 C1,...,MAXCOL CK,-1. Les Xi repèrent, dans chaque ligne, les colonnes jusqu'où s'étendent les unités spatiales successives codées Ci ; la valeur terminale de l'enregistrement (-1) repérant une abscisse impossible est marque de fin de ligne. Les codes Ci sont ou bien des entiers de l'intervalle (O...N), ou bien des codes analytiques à deux ou trois niveaux.

A chaque fichier-fond de carte est associé un fichier-paramètre créé sous éditeur de textes et contenant le nombre d'unités spatiales, le nombre de lignes et de colonnes de la grille ; il est coté en points-écran de chacune de ses cases carrées, dénominateur de l'échelle originelle, codification de 1 à 9 de la position du nord par rapport à la carte. Ce fichier-paramètres doit s'appeler « xxxxxxxx.PRM ».

Le fichier-fond de carte une fois constitué, listé, corrigé sous éditeur ou sous GENRGRL peut être modifié. Aucune anamorphose spatiale n'est ici prévue ; il semble en effet plus naturel d'en inclure la possibilité dans un

logiciel de dessin cartographique (envisagé sous le nom de CARTCRB). Les modifications possibles dans CARTGRL sont de deux sortes ; le découpage d'une fenêtre dans un fond de carte en fournissant ses coordonnées, en numéros de ligne et colonne, ou la liste des unités spatiales qui la composent (programme FNTRGRL) ; recodage des unités spatiales, condensation du codage : TRSFGRL, passage à un code analytique : RCDAGRL, passage à un code (O...N) : RCD1GRL.

Un fond de carte, originel ou modifié, peut être vérifié, avec contrôle de cohérence et listing (programme URIFGRL), en traçant ses limites et frontières (programme TRACGRL). Ce dernier programme est en outre nécessaire si l'on veut par la suite superposer limites et/ou frontières à une carte.

Gestion des données

Elle est extérieure à CARTGRL et doit être assurée par un gestionnaire de fichiers, un système de gestion de bases de données, un logiciel statistique, ou plus simplement, sous un éditeur de texte (de type WM sous CPM). Néanmoins, la rubrique gestion des données n'est pas totalement absente de CARTGRL.

J. Bertin et W. Tobler ont établi les principes d'une correspondance directe entre grisés et valeurs de la variable à cartographier. Pour intéressante que soit cette idée d'une continuité graphique pour traduire la continuité mathématique, il semble que le message graphique ne soit lisible et assimilable qu'à la condition d'avoir été simplifié (gradation de signes pour une gradation de classes de valeurs). Il est probable que la perte quantitative d'information s'accompagne d'un gain dans sa transmission et sa lisibilité, dans les meilleurs cas au moins. Pour qu'il en soit ainsi, l'utilisateur doit pouvoir

Tableau des fonctionnalités de CARTGRL

FONCTION	PROGRAMME	EFFET
documenter l'ensemble	DOC-GRL	documenter les diverses fonctions de CARTGRL
créer/maj fond-carte	éditeur GENRGRL	créer/maj le fond si unités spatiales = agrégats ; créer/maj le fond si une case = une unité spatiale.
vérifier le fond-carte	VRIFGRL	listing + contrôles
modifier le fond-carte	TRACGRL TRSFGRL RCDAGRL RCD1GRL	tracer le fond de carte recoder un fond UNICodé recoder analytiquement un fond UNICodé créer un fond UNICodé depuis un fond PLURICodé
fichiers donnés	FNTRGRL éditeur	extraire une fenêtre du fond fichiers créés sous éditeur ou autre logiciel
partition en classes	SIMUGRL	cherche la « meilleure » des partitions rentrées
dessiner une carte-grille	TRACGRL PNCTGRL CHORGRL COLLGRRL ISO-GRL	tracer le fond de carte dessiner une carte ponctuelle dessiner une carte choroplèthe dessiner une collection de cartes créer une carte isoplèthe
calculs	CALCGRL	calculs sur le fond et une carte

Exemple de TRACGRL

Fond régional



Exemple de PNCTGRL

Taux de chômage au 1.1.81



Exemples de CHORGRL

Score du Front National en % de votes exprimés

(Fond départemental)



Simulation avec CHORGRL

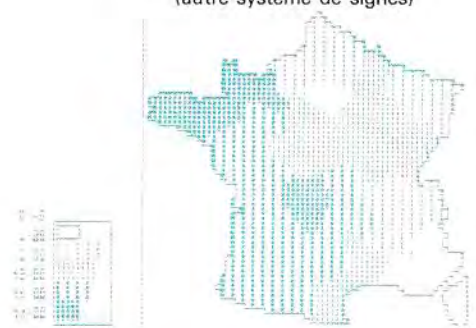


% régionaux d'agriculteurs (R.P. 1975)



% régionaux d'agriculteurs (R.P. 1975)

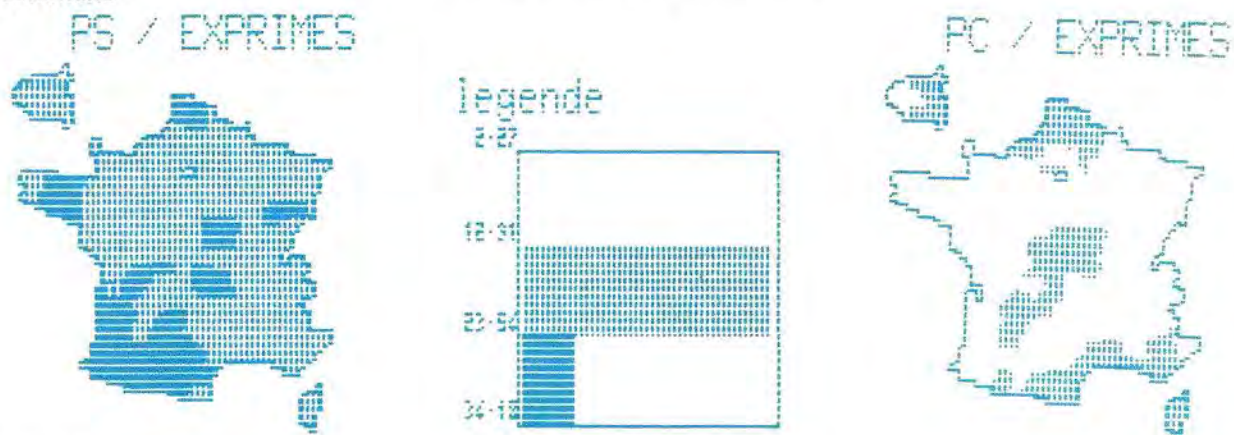
(autre système de signes)



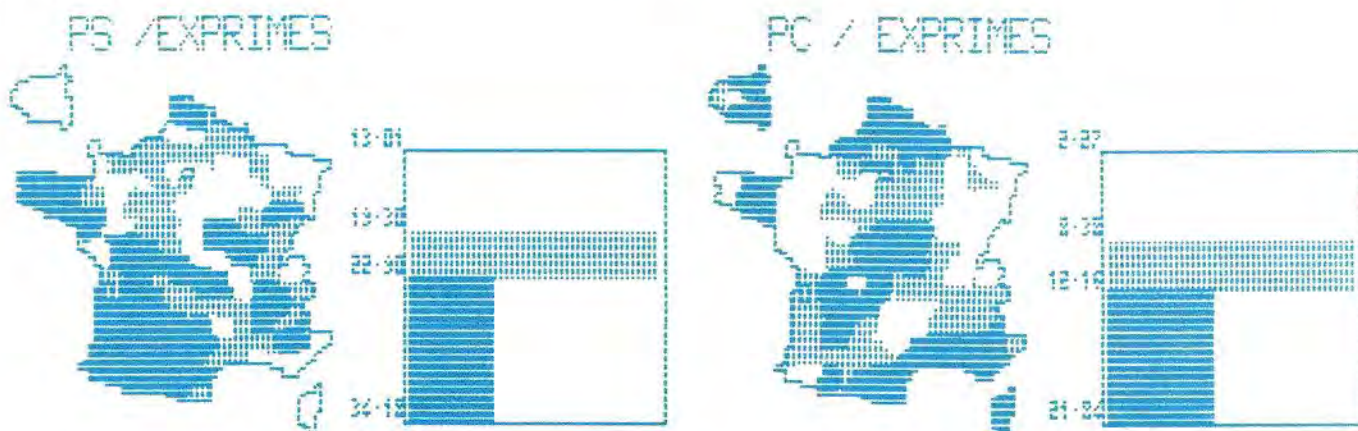
Exemple de COLLGRL

Elections européennes de 1984 en % d'exprimés

a) Echelle commune

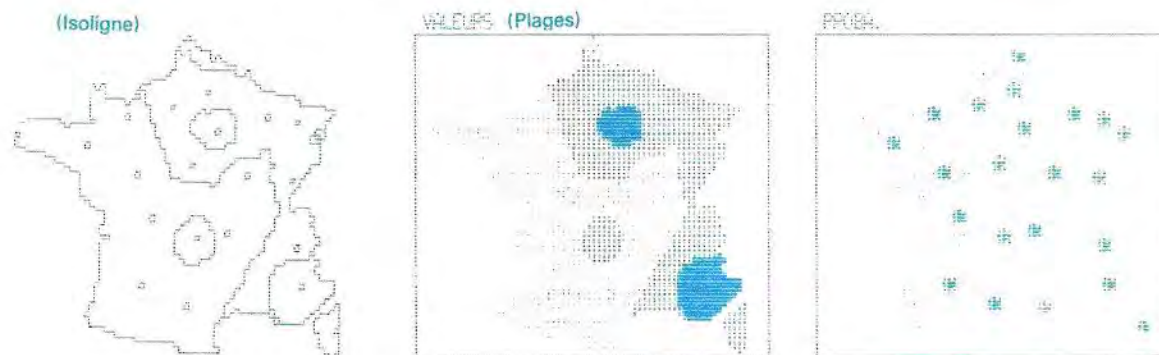


b) Echelles propres



Exemple d'ISOGRL

Evolution du taux d'activité 1954-1975



Taux d'activité/an = < -0,5 %, -0,5 % à 0,5 %, > 0,5 %

expérimenter rapidement et interactivement la qualité informationnelle de cartes produites à partir de choix différents (Dumolard, 1982) ce que lui permet justement un logiciel de cartographie sur micro-ordinateur ; mais il faut aussi qu'il puisse contrôler la perte d'information consentie pour un gain de lisibilité. Cette perte d'information (réduction d'un ensemble continu de n valeurs à un ensemble discontinu de k niveaux) a une double origine, le rapport k/n , la position des limites de classes.

Le programme SIMUGRL a pour objet d'estimer cette perte quantitative d'information. Il crée d'abord une « distribution de référence », celle des n valeurs réparties en n classes de même amplitude. Il considère ensuite, itérativement ou non, l'écart entre cette distribution de référence et la distribution en n classes d'égale amplitude reconstituée à partir d'une distribution particulière en k classes d'amplitude quelconque, sous l'hypothèse habituelle d'une distribution uniforme à l'intérieur des classes. Pour tout système de classes, l'écart calculé mesure la perte d'information ; afin de la décomposer en ses deux constituants, le nombre et les limites des classes, il faut procéder à une simulation ; pour un nombre de classes donné, tester différents procédés de partitions et/ou ensembles particuliers de limites ; pour un procédé donné, faire varier en continu le nombre de classes. C'est ce que permet le programme SIMUGRL. Il permet aussi un éventuel recodage des valeurs de la variable en numéros de classe, si l'utilisateur juge qu'il a atteint un certain optimum.

Les programmes ultérieurs de cartographie admettent une certaine diversité d'entrée de la variable à cartographier, au clavier ou à partir d'un fichier, sous forme de valeurs ou de numéros de classes. Si l'entrée est opérée depuis un fichier, la forme explicitement admise est celle d'un tableau lu ligne par ligne, unité spatiale par unité spatiale, dont on sélectionne une ou plusieurs des variables (en colonne).

Différents types de cartes dans CARTGRL

TRACGRL qui dessine les limites et/ou frontières d'un fond de carte et en produit éventuellement des fichiers, est plus un utilitaire pour les autres programmes qu'un programme autonome. Son algorithme, non trivial, mérite quelques explications.

La grille adoptée pour décrire le fond de carte et sa présentation condensée simplifient la plupart des problèmes, mais rendent malaisé le dessin des limites et/ou frontières du fond de carte. Celui-ci est dynamique et comporte deux éléments, le dessin des limites verticales, directement fourni par la structure adoptée, et celui des limites horizontales qui pose quelques problèmes si on veut l'optimiser.

Le dessin des limites horizontales se déduit de la comparaison de tous les couples de lignes successives dans la matrice des codes d'unités spatiales, stockée de façon condensée dans le fichier-fond de carte. Il faut ajouter virtuellement à cette matrice une ligne O et une ligne

MAXLIGN + 1, de codes nuls. IL serait cependant peu optimal de générer des lignes de MAXCOL colonnes et de comparer les cases obtenues les unes avec les autres. Il faut donc simuler l'intersection logique de tout couple de lignes du fond en conservant leur forme condensée. Ce problème est formellement le même que celui rencontré dans la comparaison deux à deux de biographies dont on ne mémorise que les dates de changement d'état ; il a été résolu de façon identique (Dumolard 1983). La solution consiste, dans un cas, à générer un calendrier commun des changements, dans l'autre cas une ligne virtuelle qui soit l'intersection des lignes i et $i + 1$ du fond de carte ; on y codera 1 les zones continues avec limite et 0 les zones continues sans limite.

PNCTGRL permet la création d'un type de cartes ponctuelles où à chaque unité spatiale est associée une valeur représentée par un carré noir de surface proportionnelle à celle-ci. Le programme dessine le fond de carte et localise les carrés noirs au centre des unités spatiales de telle façon qu'aucune ne soit masquée. L'intervalle de variation possible des surfaces et l'assignation des valeurs aux classes sont donc automatiques.

CHORGRL permet la réalisation de cartes choroplèthes. La construction de ces cartes à partir d'un fond-grille peut s'énoncer d'une manière qui rende apparents les choix qui font la représentation. Pour une carte thématique donnée, certains ensembles d'éléments sont en effet constants et d'autres variables ; ensembles constants : fond de carte (matrice de codes, série statistique (n codes + valeurs) ; ensembles variables : ensemble des k classes partageant l'ensemble des n valeurs, ensemble des k signes associés aux k classes. Entre ensemble des n valeurs (constant), et ensemble des classes (variable), le cartographe établit une application en général surjective. Entre ensemble des classes et ensemble des signes, tous deux variables, il établit une application bijective. La simulation cartographique consiste tout simplement à faire varier les éléments variables : système de partition des valeurs en classes (nombre, amplitude), et/ou association classes-signes. Cette simulation autorise l'expérimentation cartographique qui cherche la « bonne » image par étapes successives. Pour permettre ce type d'expérimentation, CHORGRL est divisé en cinq parties : stockage d'un fond de carte-grille (a), stockage d'une série statistique (b), partition de celle-ci en classes (c), création des signes associés aux classes (d), dessin de la carte et de sa légende (e), avec retour possible en a ou b, pour une autre carte, en c ou d pour une autre image, en e pour la duplication de l'image.

En outre, certains choix mineurs par rapport à c ou à d sont offerts, réduction graphique par exemple. Pour ce qui concerne la rubrique d, plusieurs possibilités étaient envisageables : imposer à l'utilisateur un système de représentation unique, lui offrir un choix fermé entre des trames prédéfinies, à extraire éventuellement d'un fichier de trames, lui offrir, en sus, la possibilité de créer ces signes.

Cette dernière solution est praticable aisément puisque la grille est une matrice de codes transformée, par une application composée, en une matrice de signes. Graphiquement, chacune des cases de la grille est un carré de p.p points-écran ; l'utilisateur peut créer des configurations de points « blancs » et de points « noirs », le programme n'ayant que leur codification à prévoir. CHORGRL offre le choix entre huit types de signes ou d'ensembles de signes dont l'un est libre.

COLLGRRL visualise à l'écran une collection (Bertin) de cartes choroplèthes issues du même fichier-fond de carte. Ce programme peut être utilisé afin de matérialiser différents choix de légende pour une même variable, suivre l'évolution chrono-spatiale d'une grandeur, représenter les diverses variables spatialisées issues d'un caractère (C.S.P. par exemple). En un mot, COLLGRRL est un outil de comparaison géographique, mais selon les cas, la légende est ou n'est pas commune aux cartes créées.

Dans tous les cas, le problème premier est celui de la « mise en page » de l'écran, pour le thème, l'emplacement, la taille des différentes cartes. La possibilité d'accoler jusqu'à douze cartes restreint les choix graphiques mais incite à offrir d'assez nombreux choix de partition en classes, correspondant en outre à des légendes uni- ou bi-directionnelles. En accord avec la philosophie générale de CARTGRL, très interactif, COLLGRRL est itérable à la demande, en tout ou en partie.

ISO-GRL produit des cartes isoplèthes. La principale difficulté à résoudre ici est celle de l'interpolation des valeurs à partir de celles connues aux points de relevé. Il s'agit à proprement parler d'un problème d'inférence spatiale probabiliste assez semblable à celui posé par G. Matheron (1965) pour les variables régionalisées. Parmi les autres solutions envisageables, certaines sont fondées sur l'ajustement de polynômes de degré croissant et d'interprétabilité décroissante, surfaces de tendance, surfaces de probabilité ; d'autres sur l'ajustement d'autres

types de fonctions (splines par exemple), d'autres encore sur des extensions à deux dimensions de la moyenne mobile, les dernières enfin sur l'interpolation de valeurs à partir de celles des plus proches voisins. Cette forme de lissage nous a paru la plus naturelle et la plus aisée à interpréter, ISO-GRL l'a donc retenue.

Mais le problème de l'interpolation a en fait deux versants, le premier est celui de l'estimation des valeurs les plus probables hors les zones de relevés, le second est celui de l'estimation des probabilités d'exactitude de ces zones. ISO-GRL aboutit donc à deux cartes, l'une de valeurs, l'autre de probabilité de ces valeurs. Si CARTGRL était implanté sur matériel graphique couleur, on fusionnerait ces deux cartes en une seule où la teinte traduirait la valeur, et l'intensité de teinte sa probabilité. Une autre forme graphique possible consisterait à faire des plages de confiance à l'intérieur de chacune des plages de valeur. D'une façon ou de l'autre, l'important est qu'une carte isoplèthe montre en chaque point une valeur ET son degré de probabilité. ISO-GRL, enfin, représente des plages de valeur éventuellement entourées de leurs isolignes.

Calculs d'indices sur un fond et/ou une carte.

CALCGRL réalise deux types de fonctions. Sur le fond de carte, il détermine pour chaque unité spatiale sa position relative, ses coordonnées minimales et maximales, celles de son centre, sa surface et la liste des unités spatiales qui lui sont contiguës. Sur une carte donnée, il calcule certains des indices cartographiques proposés par J.C. Muller (1977), le coefficient d'autocorrélation spatiale de P. Moran et celui de C. Geary.

Tous les programmes de CARTGRL sont auto-documentés, interactifs et ils guident l'utilisateur. En sus, un programme de documentation DOC-GRL est fourni, qui donne des informations d'ensemble et des consignes pratiques.

Références bibliographiques

- BERTIN J., 1977, *La graphique et le traitement graphique de l'information*. Paris, Flammarion.
- CHEVALLIER J.C., 1980, « Données régionalisées et mesure de l'autocorrélation spatiale », *Brouillons Dupont*, n°5.
- DUMOLARD P., 1982, « La cartographie assistée par ordinateur : expression de choix statistiques », *Brouillons Dupont*, n°8.
- DUMOLARD P., 1983, *Migrations et mobilité en Bas-Dauphiné*, Lyon, thèse d'Etat, Université de Lyon II.
- LUCAS M. et al., 1982, *La réalisation des logiciels graphiques interactifs*. Paris, Eyrolles.
- MATHERON G., 1965, *Les variables régionalisées et leur estimation*. Masson, Paris.
- MULLER J.C., 1977, « Comparaison visuelle de cartes et groupements spatiaux », *L'Espace géographique*, n°1.
- TOBLER W., 1973, *Choropleth maps without class intervals ?* University of Michigan, Research notes and comments.